

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-329651

(43)Date of publication of application : 30.11.2000

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

(21)Application number : 11-139322

(71)Applicant : ADVANTEST CORP

(22)Date of filing : 19.05.1999

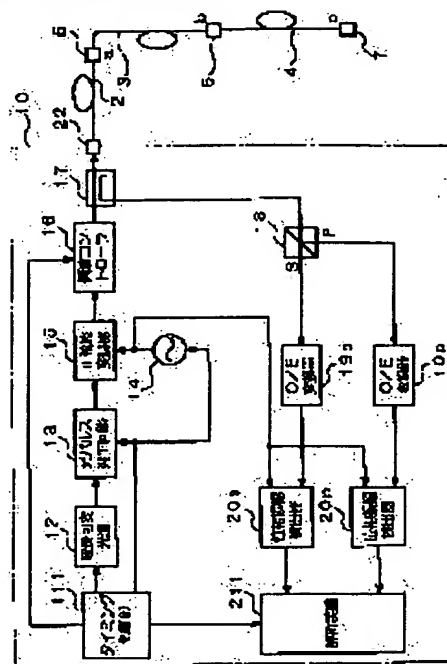
(72)Inventor : IMAMURA MOTONORI
SATOMURA HIROAKI

(54) APPARATUS FOR MEASURING POLARIZATION MODE DISPERSION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To measure a polarization mode dispersion at a specific point of an optical transmission line or in a specific transmission path formed of optical fibers after laid.

SOLUTION: A polarization mode dispersion-measuring apparatus 10 brings an optical pulse of a predetermined wavelength into an optical transmission line, and measures an amplitude of a (p) polarization component light and an (s) polarization component light and, a phase difference of the (p) polarization component light and (s) polarization component light on the basis of a return light of a reflecting light and a back scattering light reflected and scattered by each of connection parts 5 and 6 and an optical fiber leading end part 7. At this time, a polarization controller 16 converts a polarization state of the optical pulse brought in the optical fiber to be measured to a first and a second polarization states. The polarization mode dispersion-measuring apparatus 10 measures each amplitude value of the (p) polarization component light and (s) polarization component light corresponding to the optical pulses in the first and second polarization states, and each phase difference of the (p) polarization component light and (s) polarization component light, carries out a predetermined operation based on the measured amplitude values and phase differences and calculates a polarization mode dispersion to the optical pulse of the predetermined wavelength.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

13.04.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-329651
(P2000-329651A)

(43) 公開日 平成12年11月30日 (2000. 11. 30)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 1 M 11/02

識別記号

F I
G 0 1 M 11/02

テーマコード* (参考)
K

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願平11-139322

(22) 出願日 平成11年5月19日 (1999. 5. 19)

(71) 出願人 390005175

株式会社アドバンテスト

東京都練馬区旭町1丁目32番1号

(72) 発明者 今村 元規

東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会
社アドバンテスト内

(72) 発明者 里村 裕明

東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会
社アドバンテスト内

(74) 代理人 100103171

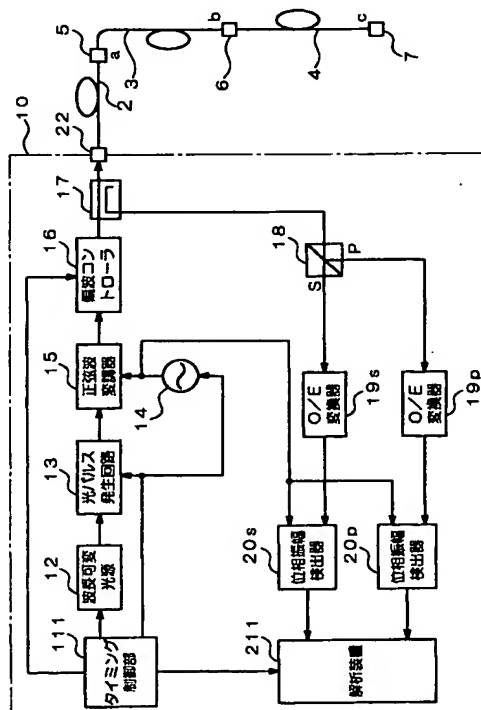
弁理士 雨貝 正彦

(54) 【発明の名称】 偏波モード分散測定装置

(57) 【要約】

【課題】 敷設後の光ファイバによって形成される光伝送路の特定箇所又は特定の伝送経路における偏波モード分散を測定できるようにする。

【解決手段】 偏波モード分散測定装置10は、光伝送路に所定波長の光パルスを入射し、各接続部5、6や光ファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光や後方散乱光の戻り光に基づいてp偏光成分及びs偏光成分の光の振幅値及びp偏光成分の光とs偏光成分の光との間の位相差を測定する。このとき、偏波コントローラ16は被測定光ファイバに入射される光パルスの偏波状態を第1及び第2の偏波状態に変換する。偏波モード分散測定装置10は、第1及び第2の偏光状態の光パルスに対応したp偏光成分及びs偏光成分の光の各振幅値と、p偏光成分とs偏光成分の光の各位相差をそれぞれ測定し、測定された振幅値及び位相差に基づいて所定の演算処理を行い、所定の波長の光パルスに対する偏波モード分散を算出する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の波長を有する光パルスを出射する光パルス生成手段と、

前記光パルス生成手段によって生成された前記光パルスの偏波状態を制御して被測定光ファイバの一方端に入射する偏波制御手段と、

偏波状態が制御された前記光パルスに対応して前記被測定光ファイバの一方端から出射される戻り光をp偏光成分とs偏光成分とに分けて出射する偏光成分分離手段と、

前記偏光成分分離手段によって分けられた前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれを検出する光検出手段と、前記光検出手段によって検出された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分の振幅値をそれぞれ測定する振幅測定手段と、

前記光検出手段によって検出された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分との間の位相差を測定する位相差測定手段と、

前記振幅測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの振幅値と、前記位相差測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分との間の位相差と、前記光パルス生成手段から前記被測定光ファイバに入射された前記光パルスの波長とに基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を求める解析手段と、

を備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項2】 請求項1において、前記解析手段は、被測定物の伝達関数行列を用いて前記被測定光ファイバの偏波モード分散を求めることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項3】 請求項2において、前記偏波制御手段は、前記被測定光ファイバを介することなく前記光検出手段に直接前記光パルスを出射した場合に、前記振幅測定手段によって測定されるp偏光成分及びs偏光成分の振幅値がそれぞれが最大となるような第1の偏波状態と第2の偏波状態で前記光パルスを別々に前記被測定光ファイバに入射し、

前記解析手段は、前記第1の偏波状態の光パルスに対応して前記振幅測定手段及び前記位相差測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの振幅値及び位相差、前記第2の偏波状態の光パルスに対応して前記振幅測定手段及び前記位相差測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの振幅値及び位相差を用いて偏波モード分散を求めることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかにおいて、前記光パルス生成手段は、前記光パルスの波長が変更可能に構成されることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかにおいて、

前記振幅測定手段及び前記位相差測定手段は、前記光検出手段によって検出された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分に対応するアナログ信号をデジタルデータに変換するアナログ-デジタル変換器を含んでおり、変換後のデジタルデータを用いたデジタル演算によって前記振幅値及び前記位相差を求めることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項6】 請求項1～5のいずれかにおいて、前記振幅測定手段によって複数回測定された振幅値に対して同期加算を行う同期加算手段をさらに備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項7】 請求項1～6のいずれかにおいて、前記位相差測定手段によって複数回測定された位相差に対して同期加算を行う同期加算手段をさらに備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項8】 請求項1～7のいずれかにおいて、前記偏光成分分離手段によって分けられた前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のいずれか一方を選択的に出射する光スイッチをさらに備えており、

前記光スイッチによる選択状態を切り替えることにより、前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分を所定の順番で前記光検出手段に入射することを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項9】 請求項1～8のいずれかにおいて、前記光検出手段によって検出される前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの強度を測定する強度測定手段をさらに備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項10】 請求項9において、前記強度測定手段は、包絡線検波器で構成されることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項11】 請求項1～9のいずれかにおいて、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスは、所定の強度を有するパルス光であり、前記位相差測定手段は、前記光パルスとしてのパルス光が前記光パルス生成手段から出射されてから前記戻り光としてのパルス光のs偏光成分およびp偏光成分のいずれかが前記光検出手段によって検出されるまでの時間に基づいて前記位相差を測定することを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項12】 請求項11において、前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光を所定時間通過させることにより前記パルス光を出射する光パルス発生部と、前記光パルス発生部によって光を通過させる前記所定時間を指定するタイミング制御部とを備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項13】 請求項1～10のいずれかにおいて、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスは、所定波長の光を所定周波数の変調信号を用いて強度変調

した光であり、

前記光検出手段は、前記戻り光の s 偏光成分と p 偏光成分のそれぞれの強度に対応した電氣的な検出信号を出力する光-電気変換器であり、

前記位相差測定手段は、前記検出信号と前記変調信号との位相差に基づいて前記戻り光の p 偏光成分と s 偏光成分との間の位相差を測定することを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 14】 請求項 13 において、

前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光に対して前記変調信号に基づいて強度変調を行う変調器と前記変調信号を発生して前記変調器に入力する発振器とを備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 15】 請求項 1～10 のいずれかにおいて、前記被測定光ファイバに入射される前記光パルスは、前記光パルス生成手段から出射される所定波長の光パルスが所定周波数の変調信号によって周波数変調されたコヒーレント光であり、

前記光検出手段は、前記戻り光である前記コヒーレント光に対して前記光パルス生成手段から出射された所定波長の光パルスを用いてヘテロダイン検波を行うことにより、前記変調信号と同じ周波数の電氣的な検出信号を出力するヘテロダイン検波器で構成され、

前記振幅測定手段は、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記戻り光の s 偏光成分と p 偏光成分のそれぞれに対応する前記検出信号の振幅に基づいて前記振幅値を測定し、

前記位相差測定手段は、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記戻り光の s 偏光成分と p 偏光成分のそれぞれに対応する前記検出信号と前記変調信号との間の位相差に基づいて前記戻り光の p 偏光成分と s 偏光成分との間の位相差を測定することを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 16】 請求項 15 において、

前記光パルス生成手段は、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光に対して前記変調信号に基づいて周波数変調を行う周波数シフタと、前記変調信号を発生して前記周波数シフタに入射する発振器とを備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 17】 請求項 15 において、

前記偏光成分分離手段に代えて、前記戻り光に含まれる前記 p 偏光成分又は前記 s 偏光成分を選択的に出射するように、前記光パルス生成手段から出射される光の偏波状態を制御する第 2 の偏波制御手段を備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 18】 請求項 15～17 のいずれかにおいて、

前記被測定光ファイバは、下り線と上り線とを有するル

ープバック方式を用いた光ファイバアンプ中継線路で構成され、

前記所定周波数の変調信号によって周波数変調することによって生成された前記コヒーレント光を前記光ファイバアンプ中継線路の下り線に入射するとともに前記光ファイバアンプ中継線路の上り線の出射端に現れる前記戻り光である前記コヒーレント光を用いて偏波モード分散の測定を行うことを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 19】 請求項 18 において、

前記光パルス生成手段は、所定期間のみ前記コヒーレント光を出射し、前記所定期間以外については前記コヒーレント光とはほぼ等しい光強度を有する一定波長の非コヒーレント光を出射しており、

前記ヘテロダイン検波器から出力される前記検出信号に対して前記変調信号の周波数近傍の信号のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 20】 請求項 1～19 のいずれかにおいて、

前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスの波長を測定する波長測定手段をさらに備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【請求項 21】 請求項 20 において、

前記波長測定手段は、

前記光パルスの波長に近い所定の波長を有する基準光を出射する基準光生成手段と、

前記基準光生成手段から出射される前記基準光を用いて前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスに対するヘテロダイン検波を行って、前記基準光と前記光パルスのそれぞれの波長の差分相当の周波数を有する差信号を出力する差信号出力手段と、

前記差信号の周波数を測定する周波数測定器と、

を備えることを特徴とする偏波モード分散測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを用いて構成された光通信システム内を伝搬する光パルスの特定期間又は特定の伝送経路における偏波モード分散を測定する偏波モード分散測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバに入射された光パルスは、光ファイバの屈折率分布、光源のスペクトル幅、光ファイバの材料の分散性に依存した波形歪みを生じるため、受信側で受信された光パルスの波形が全体的に広がったようになる。このような現象を光ファイバの分散という。光ファイバの分散には、その要因に応じて、多モード分散、材料分散、導波路分散（構造分散）、偏波モード分散が存在する。多モード分散は、伝搬するモード間の群速度の違いにより生じる分散であり、主に多モード光ファイバにおいて問題となる分散である。材料分散は、光

ファイバの材料の屈折率が光の波長に対応して変化することによって生じるものである。導波路分散は、光ファイバの材料とは無関係のものであり、光ファイバの導波路の構造によって光ファイバ内を伝搬する光の伝搬速度が波長毎に異なるために生じるものである。特に材料分散と導波路分散を合成したものを波長分散という。偏波モード分散は、直交する二つの偏波モード間の群速度の違いにより生じるものである。

【0003】光ファイバを用いて構成された光通信システムでは、光パルスの情報量を増やすために偏波面を用いて多値化することが行われている。しかし、光ファイバ敷設の際に、光ファイバが曲げられたり、側圧などの不均一な応力が加わったり、コアが偏心したり楕円化したりすると、単一モード光ファイバの基本モードの縮退が解けて、直交する二つの偏波モードが生ずるようになる。この二つの偏波モードはわずかに群速度が異なるため、光ファイバ内を伝搬する際に群遅延差を生ずるようになる。二つの偏波モードの群遅延差によって、入射した光パルスのパルス幅が広がって観測されるようになるため、伝送速度に制限を生じるようになる。このような二つの偏波モード間の伝搬定数の違いによって生じる群遅延差のことを偏波モード分散という。従って、光通信システムにおいて、この偏波モード分散がどのようなになっているのか、それを測定する必要があった。

【0004】従来から知られている偏波モード分散測定装置は、干渉法を用いた時間領域測定法と、固定アナライズ法やストークス法を用いた周波数領域測定法によって光ファイバの偏波モード分散を測定するものが知られている。干渉法を用いた偏波モード分散測定装置は、マイケルソン干渉計と同様の原理で、直交する二つの偏波モード間に生じる干渉縞を検出することによって偏波モード分散を求めるものである。固定アナライズ法を用いた偏波モード分散測定装置は、光源から出射される光を偏光子、 $1/4$ 波長板及び $1/2$ 波長板を用いて任意の入射偏光状態として、被測定光ファイバに入射させ、被測定光ファイバから出射する光を検光子を介して光スペクトラムアナライザ又は光パワーメータにより受光し、偏光状態の光強度の変化を検出し、検出された光強度の分布波形に基づいて偏波モード分散を求めるものである。ストークス法を用いた偏波モード分散測定装置は、光を偏光制御器を通して被測定光ファイバに入射させ、被測定光ファイバから出射する光を偏光解析装置で4つのストークスパラメータ $S_0 \sim S_3$ を測定し、測定された4つのストークスパラメータに基づいて偏波モード分散を求めるものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の偏波モード分散測定装置は、被測定光ファイバの一端側から光パルスを入射し、その他端側から出射する光パルスに基づいて測定する透過法と呼ばれる方法で偏波モード分散を測定し

ていた。例えば、透過法を用いて偏波モード分散を測定する従来技術として、特開平9-264814号公報に開示された測定装置が知られている。このような従来の偏波モード分散測定装置は、透過法による測定が可能な状態の敷設前の光ファイバに対して偏波モード分散の測定を行うことが多い。なお、敷設後の光ファイバに対しても透過法による測定が可能な場合、すなわち、光パルスの入射側と出射側が比較的近距離の場合に限られて行われていた。

【0006】一般的に、敷設前の光ファイバは長尺なので、偏波モード分散の測定は巻き取られた光ファイバに対して行われていた。巻き取られた状態の光ファイバは実際の敷設状態とは異なる応力が加わったりしているので、その測定結果は敷設後の光ファイバが示す偏波モード分散とは異なった値を示し、事実上敷設後の光ファイバに対しては正確な偏波モード分散を測定することはできないのが現状であった。

【0007】また、光ファイバの偏波モード分散を透過法を用いて測定した場合、その測定結果は光伝送路全体に対する偏波モード分散に過ぎず、その光伝送路の途中箇所における偏波モード分散を測定しようとしても、透過法では測定することはできなかった。すなわち、光ファイバの敷設された光伝送路に対して透過法を用いて測定したとしても、その測定結果は敷設後の光ファイバによって形成された伝送路全体の偏波モード分散を測定したことに過ぎず、各中継地点や各区間を構成する光ファイバの偏波モード分散を測定することはできなかった。

【0008】最近では、幅の細い光パルスを用いて伝送レートの向上を図ろうとしているがこの場合、光伝送路の非線形的な現象によって結果的に光パルスの幅が広がってしまい、伝送レートを上げることが困難であった。そこで、光伝送路内に所定の偏波モード分散を有する光ファイバを故意に挿入し、その通過後の光パルスに対して逆補償を行うような補償デバイスをさらに挿入して非線形的な現象を抑制するという方法が行われている。しかしながら、各区間の光ファイバの偏波モード分散を制御するためには、敷設後の実際の光ファイバが示す偏波モード分散を正確に測定できなければ、どの箇所にもどのような特性の補償デバイスを設けてよいのかが分からないので、敷設後の光ファイバの実際の偏波モード分散を測定する必要性は非常に高かった。また、敷設後の光ファイバが実際にどのような偏波モード分散特性を示すのか実際に知らないと、どこまで伝送レートを上げることができるのか、そのシミュレーションを行うこともできなかった。

【0009】本発明は、このような点に鑑みて創作されたものであり、その目的は、敷設後の光ファイバによって形成される光伝送路の特定箇所又は特定の伝送経路における偏波モード分散を測定することのできる偏波モード分散測定装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するために、請求項1に記載された偏波モード分散測定装置は所定の波長を有する光パルスを出射する光パルス生成手段と、前記光パルス生成手段によって生成された前記光パルスの偏波状態を制御して被測定光ファイバの一端に入射する偏波制御手段と、偏波状態が制御された前記光パルスに対応して前記被測定光ファイバの一端から出射される戻り光をp偏光成分とs偏光成分に分けて出射する偏光成分分離手段と、前記偏光成分分離手段によって分けられた前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれを検出する光検出手段と前記光検出手段によって検出された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分の振幅値をそれぞれ測定する振幅測定手段と、前記光検出手段によって検出された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分との間の位相差を測定する位相差測定手段と、前記振幅測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの振幅値と、前記位相差測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分との間の位相差と、前記光パルス生成手段から前記被測定光ファイバに入射された前記光パルスの波長とに基づいて、前記被測定光ファイバの偏波モード分散を求める解析手段とを備えるものである。

【0011】被測定光ファイバは、複数の光ファイバがコネクタ接続部などを介して接続されたものである。このような被測定光ファイバに所定波長の光パルスを入射すると、各接続部や光ファイバ先端部で反射及び散乱した反射光や後方散乱光が戻って来るので、その戻り光を偏光成分分離手段でp偏光成分の光とs偏光成分の光に分離して光検出手段で検出する。このときに、偏波制御手段は、光パルス生成手段によって生成された光パルスを、被測定光ファイバを通過させることなく偏光成分分離手段に入射させた場合に、その偏光成分分離手段によって分離されたp偏光成分又はs偏光成分の光パルスの光強度が最大となるような振動方向を有する直線偏光の光パルスに変換する。p偏光成分の光パルスの光強度が最大となるような振動方向を有する直線偏光の光パルスのことを第1の偏波状態の光パルスと呼び、s偏光成分の光パルスの光強度が最大となるような振動方向を有する直線偏光の光パルスのことを第2の偏波状態の光パルスと呼ぶ。従って、この偏波モード分散測定装置は、第1の偏波状態の光パルスが被測定光ファイバに入射されている場合における振幅測定手段及び位相差測定手段によって測定されたp偏光成分及びs偏光成分の戻り光の各振幅値と、p偏光成分の戻り光とs偏光成分の戻り光との間の位相差を測定し、第2の偏波状態の光パルスが被測定光ファイバに入射されている場合における振幅測定手段及び位相差測定手段によって測定されたp偏光成分及びs偏光成分の戻り光の各振幅値とp偏光成分の戻り光とs偏光成分の戻り光との間の位相差を測定する。

解析手段は、このようにして測定された振幅値及び位相差に基づいて所定の演算処理を行い、所定の波長の光パルスに対する偏波モード分散を算出する。そこで、偏波モード分散測定装置は、これらの振幅値及び位相差の測定を光パルスの波長を所定単位毎に可変しながら行い、所定波長における振幅値及び位相差を順次測定し、それを所定の演算処理にて演算することによって偏波モード分散を求める。このとき、振幅値及び位相差が各接続部で反射及び散乱した戻り光に対応するものである場合は、その地点における偏波モード分散が測定でき、振幅値及び位相差が各光ファイバを通過することによって生じたものである場合は、その光ファイバ自身の偏波モード分散を測定することができる。

【0012】請求項2に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、解析手段が被測定物の伝達関数行列を用いて前記被測定光ファイバの偏波モード分散を求めるように構成されるものである。被測定物の伝達関数行列を用いて偏波モード分散を求めるようにしたので、ストークスパラメータS1が±1近傍では偏波モード分散が測定できなかったのに対して、この偏波モード分散測定装置では余裕をもって測定することができる。

【0013】請求項3に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項2に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記偏波制御手段が前記被測定光ファイバを介することなく前記光検出手段に直接前記光パルスを出射した場合に、前記振幅測定手段によって測定されるp偏光成分及びs偏光成分の振幅値がそれぞれが最大となるような第1の偏波状態と第2の偏波状態で前記光パルスを別々に前記被測定光ファイバに入射し、前記解析手段が、前記第1の偏波状態の光パルスに対応して前記振幅測定手段及び前記位相差測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの振幅値及び位相差、前記第2の偏波状態の光パルスに対応して前記振幅測定手段及び前記位相差測定手段によって測定された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの振幅値及び位相差を用いて偏波モード分散を求めるように構成されるものである。この発明は、偏波制御手段が第1及び第2の偏波状態で光パルスを別々に被測定光ファイバに入射するので、それに応じて振幅測定手段及び位相差測定手段によって測定された各振幅値及び位相差に基づいて偏波モード分散を測定する場合を限定した。

【0014】請求項4に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～3のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、前記光パルスの波長を変更可能に構成されるものである。この発明は、例えば、1520nm～1580nmの間で波長を1nmや0.1nm単位で変化させたり、1300nm～1600nmの間で30nm

単位で変化させたりできるので、その測定精度を種々変更することができる。

【0015】請求項5に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～4のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記振幅測定手段及び前記位相差測定手段が、前記光検出手段によって検出された前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分に対応するアナログ信号をデジタルデータに変換するアナログ→デジタル変換器を含んでおり、変換後のデジタルデータをを用いたデジタル演算によって前記振幅値及び前記位相差を求めるように構成されるものである。光検出手段によって検出された戻り光はアナログ信号なので、これに基づいて遅延量を測定するとなると回路構成が複雑となるので、この発明は、アナログ→デジタル変換器で一旦デジタル信号に変換することによって、その後はそのデジタル信号を記憶し、それに基づいて振幅値及び位相差の測定などを行うようにした。

【0016】請求項6に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～5のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記振幅測定手段によって複数回測定された振幅値に対して同期加算を行う同期加算手段をさらに備えるものである。一回の測定によって振幅値を算出した場合だと測定結果に誤差が多く含まれる場合があるので、この発明は同期加算することによってその測定精度を向上するようにした。

【0017】請求項7に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～6のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記位相差測定手段によって複数回測定された位相差に対して同期加算を行う同期加算手段をさらに備えるものである。一回の測定によって位相差を算出した場合だと、測定結果に誤差が多く含まれる場合があるので、この発明は同期加算することによってその測定精度を向上するようにした。

【0018】請求項8に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～7のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記偏光成分分離手段によって分けられた前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のいずれか一方を選択的に出射する光スイッチをさらに備えており、前記光スイッチによる選択状態を切り替えることにより、前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分を所定の順番で前記光検出手段に入射するものである。振幅測定手段及び位相差測定手段は、それぞれp偏光成分用とs偏光成分用が必要であるが、この発明のように、光スイッチの選択状態を切り換えることによって、一つの振幅測定手段及び位相差測定手段を用いて、p偏光成分及びs偏光成分の戻り光の振幅値及び位相差を交互に測定することができる。

【0019】請求項9に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～8のいずれかに記載された偏波

モード分散測定装置の一実施態様として、前記光検出手段によって検出される前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分のそれぞれの強度を測定する強度測定手段をさらに備えるものである。この発明は、偏波モード分散を測定すると同時に、戻り光の強度に基づいて通常のOTDR測定装置と同様の光ファイバの損失等を測定するようにしたものである。

【0020】請求項10に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項9に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記強度測定手段が、包絡線検波器で構成されるものである。この発明は、包絡線検波器によって通常のOTDR測定装置と同様の光ファイバの損失などを測定するようにしたものである。

【0021】請求項11に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～9のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスは、所定の強度を有するパルス光であり、前記位相差測定手段は、前記光パルスとしてのパルス光が前記光パルス生成手段から出射されてから前記戻り光としてのパルス光のs偏光成分およびp偏光成分のいずれかが前記光検出手段によって検出されるまでの時間に基づいて前記位相差を測定するものである。この発明は、所定強度の光パルスを用いているので、光ファイバの減衰特性によってどの程度の強度の光パルスが戻り光として戻ってくるかが分かる。また、この発明は、位相差測定手段によって光パルスが光パルス生成手段から出射されてから光検出手段で検出されるまでの時間を測定し、その時間を各波長毎に測定し、それを波長の1周期当たりの時間と対比することによって位相差を測定するようにしたものである。

【0022】請求項12に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項11に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光を所定時間通過させることにより前記パルス光を出射する光パルス発生部と前記光パルス発生部によって光を通過させる前記所定時間を指定するタイミング制御部とを備えるものである。この発明は、光パルス生成手段を具体的に限定したものであり、光パルスはタイミング制御部によって指定された所定時間だけ出射されるので、このタイミング制御部が光パルス発生部に指定したタイミングを基準にして遅延量の測定を行うことができる。

【0023】請求項13に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～10のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスは、所定波長の光を所定周波数の変調信号を用いて強度変調した光であり、前記光検出手段は、前記戻り光のs偏光成分とp偏光成分のそれぞれの強度に対応した電気的な検出信号

を出力する光—電気変換器であり、前記位相差測定手段は、前記検出信号と前記変調信号との位相差に基づいて前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分との間の位相差を測定するものである。この発明は、被測定光ファイバに入射される光パルスの強度を所定周波数の変調信号によって変調することによって、戻り光のs偏光成分とp偏光成分のそれぞれの強度に対応した電気的な検出信号と変調信号との間の位相差に基づいて、s偏光成分の光とp偏光成分の光と間の位相差を測定するようにしたものである。

【0024】請求項14に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項13に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光に対して前記変調信号に基づいて強度変調を行う変調器と、前記変調信号を発生して前記変調器に入力する発振器とを備えるものである。この発明は、請求項13に記載された光パルス生成手段を具体的に限定したものである。

【0025】請求項15に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～10のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記被測定光ファイバに入射される前記光パルスは、前記光パルス生成手段から出射される所定波長の光パルスが所定周波数の変調信号によって周波数変調されたコヒーレント光であり、前記光検出手段は、前記戻り光である前記コヒーレント光に対して前記光パルス生成手段から出射された所定波長の光パルスを用いてヘテロダイン検波を行うことにより、前記変調信号と同じ周波数の電気的な検出信号を出力するヘテロダイン検波器で構成され、前記振幅測定手段は、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記戻り光のs偏光成分とp偏光成分のそれぞれに対応する前記検出信号の振幅に基づいて前記振幅値を測定し、前記位相差測定手段は、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記戻り光のs偏光成分とp偏光成分のそれぞれに対応する前記検出信号と前記変調信号との間の位相差に基づいて前記戻り光のp偏光成分とs偏光成分との間の位相差を測定するものである。この発明は、光パルス生成手段から出射される光パルスを周波数変調することによってコヒーレント光とし、それを被測定光ファイバに入射し、その戻り光と光パルス生成手段から出射される光パルスとをヘテロダイン検波することによって得られた検出信号と変調信号との間の位相差に基づいて振幅値及び位相差を測定するようにしたものである。

【0026】請求項16に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項15に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定波長の光を出射するレーザ光源と、前記レーザ光源から出射される光に対して前記変調信号に基づいて周波数変調を行う周波数シフタと、前記変調信号を発生

して前記周波数シフタに入力する発振器とを備えるものである。この発明は、請求項15に記載のコヒーレント光を生成する光パルス生成手段を具体的に限定したものである。

【0027】請求項17に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項15に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記偏光成分分離手段に代えて、前記戻り光に含まれる前記p偏光成分又は前記s偏光成分を選択的に出射するように、前記光パルス生成手段から出射される光の偏波状態を制御する第2の偏波制御手段を備えるものである。この発明は、前記戻り光である前記コヒーレント光に対して前記光パルス生成手段から出射された所定波長の光パルスを基準光としてヘテロダイン検波を行う際に、基準光となる光パルスの偏波状態をp偏光成分及びs偏光成分の振幅値がそれぞれが最大となるような第1の偏波状態と第2の偏波状態にそれぞれ変換することによって、ヘテロダイン検波器は、戻り光に含まれるp偏光成分又はs偏光成分にそれぞれ対応した前記変調信号と同じ周波数の電気的な検出信号をそれぞれ出力するようになる。すなわち、第2の偏波制御手段が基準光となる光パルスの偏波状態をp偏光成分の振幅値が最大となるような第1の偏波状態に変換すると、ヘテロダイン検波器からは戻り光に含まれるp偏光成分の光に対応した検出信号が出力されるようになる。また、第2の偏波制御手段が基準光となる光パルスの偏波状態をs偏光成分の振幅値が最大となるような第2の偏波状態に変換すると、ヘテロダイン検波器からは戻り光に含まれるs偏光成分の光に対応した検出信号が出力されるようになり偏光ビームスプリッタなどの偏光成分分離手段を省略することができる。

【0028】請求項18に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項15～17のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として前記被測定光ファイバが、下り線と上り線とを有するループバック方式を用いた光ファイバアンプ中継線路で構成され、前記所定周波数の変調信号によって周波数変調することによって生成された前記コヒーレント光を前記光ファイバアンプ中継線路の下り線に入射するとともに、前記光ファイバアンプ中継線路の上り線の出射端に現れる前記戻り光である前記コヒーレント光を用いて偏波モード分散の測定を行うものである。この発明は、被測定光ファイバがループバック方式を用いた光ファイバアンプ中継線路で構成された場合に、その偏波モード分散を測定する場合を具体的に限定したものである。

【0029】請求項19に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項18に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段が、所定期間のみ前記コヒーレント光を出射し、前記所定期間以外については前記コヒーレント光とほぼ等しい光強度を有する一定波長の非コヒーレント光を出射して

おり、前記ヘテロダイン検波器から出力される前記検出信号に対して前記変調信号の周波数近傍の信号のみを通過させる帯域通過フィルタをさらに備えるものである。この発明は、請求項18に記載の光ファイバアンプ中継線路に光パルスを入射して偏波モード分散を測定する場合に、光アンプによって自動的にゲイン調整が行われるので、それを防止するために、光強度を一定に保持するためのローディング光を射出するとともに、光アンプによって戻り光に含まれるノイズ成分が増加するので、そのノイズ成分を有効に除去するために帯域通過フィルタを設けたものである。

【0030】請求項20に記載された偏波モード分散測定装置は、前記請求項1～19のいずれかに記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスの波長を測定する波長測定手段をさらに備えるものである。この発明は、温度特性の変化や経時変化によって光パルス生成手段から出射された光パルスが所望の波長でない場合があり得るので実際に被測定光ファイバに入射される光パルスの波長を波長測定手段で測定するようにしたものである。

【0031】請求項21に記載された偏波モード分散測定は、前記請求項20に記載された偏波モード分散測定装置の一実施態様として、前記波長測定手段が前記光パルスの波長に近い所定の波長を有する基準光を出射する基準光生成手段と、前記基準光生成手段から出射される前記基準光を用いて前記光パルス生成手段から出射される前記光パルスに対するヘテロダイン検波を行って、前記基準光と前記光パルスのそれぞれの波長の差分相当の周波数を有する差信号を出力する差信号出力手段と、前記差信号の周波数を測定する周波数測定器と、を備えるものである。この発明は、請求項20に記載の波長測定手段を具体的に限定したものである。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明を適用した一実施の形態に係る偏波モード分散測定装置について図面を参照しながら説明する。

【0033】〔第1の実施の形態〕本発明を適用した第1の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置は、二つの直交する偏波モードの光パルスを別々に被測定光ファイバに入射し、戻ってきた光パルスのp偏光成分とs偏光成分の振幅及び両者の位相差を複数種類の波長について求め、それに基づいて偏波モード分散を測定するようにしたものである。

【0034】図1は、第1の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の構成を示す図である。この実施の形態では、偏波モード分散測定装置10を用いて、敷設済の光ファイバ2～4に関する偏波モード分散を測定する場合について説明する。光ファイバ2の一端は溶着接続部（図示せず）を介して偏波モード分散測定装置10の入

出力端子22に接続され、他端はコネクタ接続部5を介して光ファイバ3の一端に接続されている。光ファイバ3の他端はコネクタ接続部6を介して光ファイバ4の一端に接続されている。光ファイバ4の他端はファイバ先端部7を形成している。

【0035】偏波モード分散測定装置10は、タイミング制御部111、波長可変光源12、光パルス発生回路13、正弦波発振器14、正弦波変調器15、偏波コントローラ16、光方向性結合器17、偏光ビームスプリッタ18、光-電気(O/E)変換器19s、19p、位相振幅検出器20s、20p、解析装置211を含んで構成される。

【0036】波長可変光源12は、光通信用として使用される基本波長1.31 μ m、1.55 μ m、1.65 μ mから前後にずれた複数の波長の光を連続的に可変して生成する。例えば、波長可変光源12は、1520nm～1580nmの間で波長を1nmや0.1nm単位で変化させた光や、1300nm～1600nmの間で30nm単位で変化させた光などを自由に射出することができるレーザ光源である。なお、波長可変光源12から出射される波長の値は、タイミング制御部111から出力される波長設定信号によって任意に設定される。

【0037】光パルス発生回路13は、波長可変光源12から出射される光が入射され、その入射光の1次回折光を、タイミング制御部111から出力されるタイミング信号に応じたタイミングで、正弦波変調器15に射出する。光パルス発生回路13は、図示していない音響光学変調器(AOM)、発振器、スイッチ回路等を含んで構成される。音響光学変調器は、入射光の1次回折光を発振器から出力される駆動信号の周波数に応じた回折角で射出する。発振器は、所定の超音波周波数の駆動信号を出力する。スイッチ回路はタイミング制御部111から出力されるタイミング信号に応じたタイミングで発振器から出力される所定周波数の駆動信号を音響光学変調器に印加する。これによって、光パルス発生回路13は、タイミング信号の入力タイミングに同期した光パルスを正弦波変調器15に射出する。なお、光パルス発生回路13を構成する音響光学変調器には、波長可変光源12から出射される種々の波長の光が入射されるようになるので、光パルス発生回路13は、この音響光学変調器の回折効率が最適な値となるように駆動信号の超音波周波数及び電圧値を適当に制御している。このように波長に応じて駆動信号の超音波周波数及び電圧値を制御するような光パルス発生回路については、本発明の発明者が別途出願しているので、ここではその説明は省略する。

【0038】タイミング制御部111は、光パルスの出力タイミングに対応したタイミング信号（プローブパルス）を光パルス発生回路13及び正弦波発振器14に、光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源1

2に、直線偏光の振動方向を制御する偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に、偏波モード分散の解析開始信号を解析装置211にそれぞれ出力する。タイミング信号は所定の時間幅を有するパルス状の信号である。光パルス発生回路13は、このタイミング制御部111から入力されるタイミング信号がハイレベルの状態にある場合に所定波長の光パルスを正弦波変調器15に出射しており、このタイミング信号のハイレベルの時間を制御することによって光パルスの幅を適当に制御することができる。波長設定信号は、前述のように波長可変光源12から出射される光の波長を1520nm~1580nmの間で1nm単位で変化させる場合には、その設定内容は1520nm, 1521nm, 1522nm, ... のようなものとなり、1300nm~1600nmの間で30nm単位で変化させる場合には、その設定内容は1300nm, 1330nm, 1360nm, ... のようなものとなる。解析開始信号は、このような一連の波長設定信号による位相及び振幅の測定が終了した時点で解析装置211に出力されるものである。

【0039】正弦波発振器14は、タイミング制御部111から出力されるタイミング信号に同期して所定周波数の正弦波信号を正弦波変調器15及び位相振幅検出器20s, 20pに出力する。なお、正弦波発振器14は、所定の波長に対する位相比較が行われている間は正弦波信号を位相振幅検出器20s, 20pに出力し続ける。正弦波変調器15は、正弦波発振器14から出力される正弦波信号に基づいて、光パルス発生回路13から出射される光パルスの強度を変調し、その強度変調された光パルスを偏波コントローラ16に出射する。偏波コントローラ16は、正弦波変調器15によって強度変調された光パルスが入射され、この光パルスの偏波状態を直線偏光に変え、かつ、その直線偏光の振動方向をタイミング制御部111から出力される偏波状態制御信号に応じて制御し、偏波状態の制御された強度変調光パルスを光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2~4に出射する。すなわち、偏波コントローラ16は、自然光を直線偏光に変換する偏光子と、この偏光子を光軸回りに回転させるモータ駆動部とから構成されている。モータ駆動部はタイミング制御部111から出力される偏波状態制御信号に応じて偏光子を光軸回りにおける所定位置に位置決めしているため、強度変調光パルスは、偏光子によって所定の振動方向を有する直線偏光に変換されて出射されるようになっている。なお、偏波コントローラ16は、これ以外の4分の1波長板などの種々の光学素子を適当に組み合わせて構成してもよいことはいふまでもない。

【0040】光方向性結合器17は、偏波コントローラ16から出射された強度変調光パルスが入射され、それを入出力端22を介して、測定対象である光ファイバ2~4に向けて出射すると共に光ファイバ2~4間のコネ

クタ接続部5, 6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光を偏光ビームスプリッタ18に分波するものである。偏光ビームスプリッタ18は、光方向性結合器17によって分波されて来た反射光及び後方散乱光が入射され、それをp偏光成分とs偏光成分の反射光及び後方散乱光に分離する。偏光ビームスプリッタ18によって分離されたs偏光成分の反射光及び後方散乱光は光-電気変換器19sに、p偏光成分の反射光及び後方散乱光は光-電気変換器19pにそれぞれ入射されるように構成される。光-電気変換器19sは、偏光ビームスプリッタ18によって分離されたs偏光成分の反射光及び後方散乱光が入射され、それを電気信号に変換して、位相振幅検出器20sに出力する。光-電気変換器19pは、偏光ビームスプリッタ18によって分離されたp偏光成分の反射光及び後方散乱光が入射され、それを電気信号に変換して、位相振幅検出器20pに出力する。

【0041】位相振幅検出器20pは、正弦波発振器14から出力される正弦波信号と、各コネクタ接続部5, 6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のp偏光成分の強度変調光パルスに対応する信号波形との間の位相を比較しその位相差信号を解析装置211に出力すると共に、各コネクタ接続部5, 6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のs偏光成分の強度変調光パルスに対応する信号波形との間の位相を比較し、その位相差信号を解析装置211に出力すると共に、各コネクタ接続部5, 6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のs偏光成分の強度変調光パルスに対応する信号波形の最大振幅値を測定し、それを解析装置211に出力する。

【0042】解析装置211は、位相振幅検出器20p, 20sから出力される位相差信号及び振幅値を順次記憶しておき、タイミング制御部111から出力される解析開始信号に応じて、これらの蓄積された位相差信号及び振幅値に基づいて所定の演算処理を施し、コネクタ接続部5, 6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2~4に対応する区間の偏波モード分散をそれぞれ算出する。なお、解析装置211がどのようにして偏波モード分散を算出するのかについては、本発明の出願人が先に願した特開平9-264814号公報に詳細に記載されているので、ここではその詳細な説明は省略し、後述の動作説明の中で概略のみを説明することとする。

【0043】上述したタイミング制御部111、波長可

変光源12、光パルス発生回路13正弦波発振器14及び正弦波変調器15が光パルス生成手段に、偏波コントローラ16が偏波制御手段に、光方向性結合器17及び偏光ビームスプリッタ18が偏光成分分離手段に、光一電気変換器19s、19pが光検出手段に、位相振幅検出器20s、20p及び解析装置211が振幅測定手段に、位相振幅検出器20s、20p及び解析装置211が位相差測定手段に、解析装置211が解析手段にそれぞれ対応する。

【0044】次に、第1の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置10の動作について図面を用いて説明する。図2は、図1の偏波モード分散測定装置10によって、コネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散並びに光ファイバ2～4の偏波モード分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図であり、横軸に時間を示す。まず、タイミング制御部111は、波長可変光源12に対して波長 λ_0 の波長設定信号を出力する。これによって、波長可変光源12は波長 λ_0 の光を光パルス発生回路13に出射するようになる。

【0045】タイミング制御部111は、図2(a)に示すようなタイミング信号(プローブパルス)を光パルス発生回路13及び正弦波発振器14に出力する。光パルス発生回路13は、このタイミング信号の入力に同期したタイミングで波長 λ_0 の光パルスを正弦波変調器15に出射する。これと同じタイミングで正弦波発振器14は図2(c)に示すような正弦波信号を正弦波変調器15及び位相振幅検出器20s、20pに出力する。正弦波変調器15は、正弦波発振器14から出力された正弦波信号に応じて光パルス発生回路13から入射された光パルスの強度を変調し、図2(b)に示すような強度変調光パルスを偏波コントローラ16に出射する。

【0046】このとき偏波コントローラ16は、正弦波変調器15から出射された強度変調光パルスを第1の偏波状態に変換して光方向性結合器17に出射するようにタイミング制御部111から出力された第1の偏波状態制御信号によって予め設定されている。ここで、第1の偏波状態の光パルスとは、偏波コントローラ16から出射される直線偏光の光パルスが被測定光ファイバ2～4を通過することなく偏光ビームスプリッタ18に入射した場合に、偏光ビームスプリッタ18から出射されるp偏光成分の光強度が最大となるような振動方向を有する直線偏光に変換された光パルスのことである。従って、偏波コントローラ16が光パルスを第1の偏波状態に変換するためには、偏波コントローラ16から出射される直線偏光の光パルスが被測定光ファイバ2～4を通過することなく偏光ビームスプリッタ18に入射した場合に、偏光ビームスプリッタ18から出射されるp偏光成分の光強度が最大となるように偏波コントローラ16内の偏光子の回転位置を予め検出しておき、この回転位置

に関する情報を第1の偏波状態制御信号として、タイミング制御部111に設定しておく。従って、タイミング制御部111がこの回転位置に関する第1の偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に出力すると、偏波コントローラ16は偏光子の回転位置をモータ駆動部によって制御し、正弦波変調器15から出射される強度変調光パルスを第1の偏波状態の光パルスに変換して出射するようになる。

【0047】偏波コントローラ16から出射される第1の偏波状態の強度変調光パルスは、光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2～4に入射される。光ファイバ2～4に入射した強度変調光パルスは、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2～4をそれぞれ経路して入出力端22に戻ってくる。入出力端22に戻ってきた強度変調光パルスは光方向性結合器17を介して偏光ビームスプリッタ18に入射され、そこでp偏光成分の強度変調光パルスとs偏光成分の強度変調光パルスに分離され、それぞれの強度変調光パルスに対応した光一電気変換器19s、19pに入射され、そこで電気的な信号に変換される。光一電気変換器19s、19pから出力される電気的な信号は図2(d)～(g)に示すように、それぞれの信号波形が正弦波変調器15から出射された図2(b)の強度変調光パルスに対応した波形を示すようになる。

【0048】図2(d)は、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱した波長 λ_0 のp偏光成分の強度変調光パルスの戻り光が光一電気変換器19pによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図2(d)において、信号波形ap0はコネクタ接続部5で、信号波形bp0はコネクタ接続部6で、信号波形cp0はファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した波長 λ_0 のp偏光成分の強度変調光パルスの戻り光に対応するものである。図2(e)は、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_0 のs偏光成分の強度変調光パルスの戻り光が光一電気変換器19sによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図2

(e)において、信号波形as0はコネクタ接続部5で、信号波形bs0はコネクタ接続部6で、信号波形cs0はファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した波長 λ_0 のs偏光成分の強度変調光パルスの戻り光に対応するものである。なお、図2において、コネクタ接続部5にはaの文字を、コネクタ接続部6にはbの文字を、ファイバ先端部7にはcの文字を付して、それぞれの波形との対応を示している。

【0049】位相振幅検出器20pは、光一電気変換器19pから出力される各信号波形ap0、bp0、cp0と、正弦波発振器14から出力される図2(c)の正弦波信号との間で位相を比較し、その位相差信号P10

a, P10b, P10cを解析装置211に出力する。また、位相振幅比較器20pは、光-電気変換器19pから出力される各信号波形ap0, bp0, cp0の最大振幅値を検出し、その振幅値L10a, L10b, L10cを解析装置211に出力する。位相振幅検出器20sは、光-電気変換器19sから出力される各信号波形as0, bs0, cs0と、正弦波発振器14から出力される図2(c)の正弦波信号との間で位相を比較し、得られた位相差信号P20a, P20b, P20cを解析装置211に出力する。また、位相振幅比較器20sは、光-電気変換器19sから出力される各信号波形as0, bs0, cs0の最大振幅値を検出し、その振幅値L20a, L20b, L20cを解析装置211に出力する。

【0050】以下同様にして、タイミング制御部111は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。図2(f)は、コネクタ接続部5, 6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱した波長 λ_n のp偏光成分の強度変調光パルスの戻り光が光-電気変換器19pによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図2(f)において、信号波形apnはコネクタ接続部5で、信号波形bpnはコネクタ接続部6で、信号波形cpnはファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した波長 λ_n のp偏光成分の強度変調光パルスの戻り光に対応するものである。図2(g)は、コネクタ接続部5, 6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_n のs偏光成分の強度変調光パルスの戻り光が光-電気変換器19sによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図2(g)において、信号波形asnはコネクタ接続部5で、信号波形bsnはコネクタ接続部6で、信号波形csnはファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した波長 λ_n のs偏光成分の強度変調光パルスの戻り光に対応するものである。これによって、位相振幅検出器20pは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号P11a~P11n, P11b~P11n, P11c~P11nc及び振幅値L11a~L11n, L11b~L11nb, L11c~L11ncを測定して解析装置211に順次出力する。同様に、位相振幅検出器20sは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号P21a~P21n, P21b~P21nb, P21c~P21nc及び振幅値L21a~L21na, L21b~L21nb, L21c~L21ncを測定して解析装置211に順次出力する。

【0051】第1の偏波状態の強度変調光パルスに対する一連の処理が終了すると、今度はタイミング制御部111は、第2の偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に出力し、偏波コントローラ16から第2の偏波状態に変換された直線偏光の強度変調光パルスが出射されるように偏波コントローラ16の設定を変更する。これに

よって、偏波コントローラ16は、正弦波変調器15から出射される強度変調光パルスを第2の偏波状態の直線偏光に変換して光方向性結合器17に出射ようになる。ここで、第2の偏波状態の光パルスとは、偏波コントローラ16から出射される直線偏光の光パルスが被測定光ファイバ2~4を通過することなく偏光ビームスプリッタ18に入射した場合に、偏光ビームスプリッタ18から出射されるs偏光成分の光強度が最大となるような所定の振動方向を有する直線偏光に変換された光パルスのことである。従って、偏波コントローラ16が光パルスを第2の偏波状態に変換するためには、偏波コントローラ16から出射される直線偏光の光パルスが被測定光ファイバ2~4を通過することなく偏光ビームスプリッタ18に入射した場合に、偏光ビームスプリッタ18から出射されるs偏光成分の光強度が最大の値となるような偏波コントローラ16内の偏光子の回転位置を予め検出しておく必要がある。タイミング制御部111はこの回転位置に関する情報を第2の偏波状態制御信号として偏波コントローラ16に出力することによって、偏波コントローラ16からは第2の偏波状態の光パルスが出射されるようになる。なお、第2の偏波状態の光パルスが出射されるような回転位置を検出しなくても、前述の第1の偏波状態の光パルスが出射された場合の回転位置を基準に偏波コントローラ16内の偏光子を時計方向又は反時計方向に約90度回転させてもよいことは言うまでもない。

【0052】偏波コントローラ16から出射される第2の偏波状態の強度変調光パルスは、前述の場合と同様に光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2~4に入射され、コネクタ接続部5, 6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2~4をそれぞれ経由して入出力端22に戻ってくる。入出力端22に戻ってきた強度変調光パルスは光方向性結合器17を介して偏光ビームスプリッタ18に入射され、そこでp偏光成分の強度変調光パルスとs偏光成分の強度変調光パルスに分離され、それぞれの偏光成分に対応した光-電気変換器19s, 19pに入射され、そこで電気的な信号に変換される。光-電気変換器19s, 19pによって変換された電気的な信号は前述の場合と同様に正弦波変調器15から出射された図2(b)の強度変調光パルスに対応した波形になる。そこで、前述の場合と同様に、位相振幅検出器20pは、光-電気変換器19pから出力される各信号波形と、正弦波発振器14から出力される正弦波信号との間で位相を比較し、その位相差信号を解析装置211に出力すると共に、光-電気変換器19pから出力される各信号波形の最大振幅値を検出し、その振幅値を解析装置211に出力する。同様に、位相振幅検出器20sは、光-電気変換器19sから出力される各信号波形と、正弦波発振器14から出力される正弦波信号との間で位相を比較し、

その位相差信号を解析装置211に出力すると共に、光—電気変換器19sから出力される各信号波形の最大振幅値を検出し、その振幅値を解析装置211に出力する。以下同様にして、タイミング制御部111は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、位相振幅検出器20pは、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号P30a～P3na, P30b～P3nb, P30c～P3nc及び振幅値L30a～L3na, L30b～L3nb, L30c～L3ncを解析装置211に順次出力する。また、同様に、位相振幅検出器20sは、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号P40a～P4na, P40b～P4nb, P40c～P4nc及び振幅値L40a～L4na, L40b～L4nb, L40c～L4ncを解析装置211に順次出力する。

【0053】 上述のような第1の偏波状態の強度変調光

$$[T(\omega)] = \begin{bmatrix} |T_{11}| e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}| e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}| e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}| e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $|T_{ij}|$ は各行列要素の振幅を、 ϕ_{ij} は各行列要素の位相推移をそれぞれ示し、ともに光パルスの周波数（波長）の関数である。このような伝達関数行列

【T】を示す被測定物の偏波モード分散 τ_{PMD} は、次式

$$\tau_{PMD} = 2\sqrt{\dot{\theta}^2 + \dot{\phi}_1^2 \cos^2 \theta + \dot{\phi}_2^2 \sin^2 \theta} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 θ は偏光角を、 ψ_1 は光の進行方向に垂直な面内にある方向の位相推移を、 ψ_2 は ψ_1 に直交する方向の位相推移をそれぞれ示す。

$$\theta(\omega) = \cos^{-1}(|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2) \quad \dots\dots(3)$$

によって、 ψ_1 は、

【0059】

$$\psi_1(\omega) = (\phi_{11} - \phi_{22}) / 2 \quad \dots\dots(4)$$

によって、 ψ_2 は、

【0060】

$$\psi_2(\omega) = (\phi_{21} - \phi_{12} + \pi) / 2 \quad \dots\dots(5)$$

によって求められる。従って、伝達関数行列【T】の各成分を測定することによって、被測定光ファイバの偏波モード分散を演算処理にて求めることができる。

【0061】 すなわち、第1の偏波状態の強度変調光パ

ルスに対する処理及び第2の偏波状態の強度変調光パルスに対する処理を行うことによって、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の強度変調光パルスが入出力端22を出射してからコネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7で反射及び散乱して再び入出力端22に戻って来るまでの間に通過した各光ファイバ及び接続部等によって生じた偏波モード分散に対応する伝達関数行列【T】の行列要素である振幅値とその位相推移が解析装置211に集計されることになる。従って、解析装置211は、集計された振幅値及び位相推移、並びに伝達関数行列【T】に基づいて被測定物の偏波モード分散を求める。

【0054】 伝達関数行列【T】は次式（1）のように定義される。

【0055】

【数1】

（2）のように定義される。

【0056】

【数2】

【0057】 式（2）における $\theta(\omega)$ は、

【0058】

【数3】

【数4】

【数5】

ルスを被測定光ファイバ2～4に出射することによって、次式（6）のような関係が成立する。

【0062】

【数6】

$$\begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} \text{ (p成分)} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} \text{ (s成分)} \end{bmatrix} \dots\dots(6)$$

従って、その戻り光のp偏光成分及びs偏光成分の位相差及び振幅値を測定することは、伝達関数行列[T]の中の次の行列要素の振幅及び位相推移

【0063】

【数7】

$$|T_{11}|e^{-j\phi_{11}}, |T_{21}|e^{-j\phi_{21}}$$

$$\begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \text{ (p成分)} \\ |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \text{ (s成分)} \end{bmatrix} \dots\dots(7)$$

従って、その戻り光のp偏光成分及びs偏光成分の位相差及び振幅値を測定することは、伝達関数行列[T]の中の次の行列要素の振幅及び位相推移

【0066】

【数9】

$$|T_{12}|e^{-j\phi_{12}}, |T_{22}|e^{-j\phi_{22}}$$

を測定することに等しい。

【0067】以上の処理によって、伝達関数行列[T]を構成する各行列要素の振幅及び位相推移が測定できるので、これらの値を式(3)～(5)に代入し、さらにその値を式(2)に代入することによって被測定光ファイバ2～4の偏波モード分散を求めることができる。このような処理を各波長毎に行うことによって、各波長毎の偏波モード分散を測定することができる。

【0068】例えば、第1の偏波状態に変換された波長λ0の強度変調光パルスが入出力端22を射出してからコネクタ接続部5で反射及び散乱して再び入出力端22に戻って来た場合には、式(7)に対応する行列要素の振幅値|T₁₁|は振幅値L10a、位相推移φ₁₁は位相差P10a、振幅値|T₂₁|は振幅値L20a、位相推移φ₂₁は位相差P20aとなる。同様に、第2の偏波状態に変換された波長λ0の強度変調光パルスが入出力端22を射出してからコネクタ接続部5で反射及び散乱して再び入出力端22に戻って来た場合には、式(9)に対応する行列要素の振幅値|T₁₂|は振幅値L30a、位相推移φ₁₂は位相差P30a、振幅値|T₂₂|は振幅値L40a、位相推移φ₂₂は位相差P40aとなる。従って、これらの各値を式(2)～(5)に代入することによって、波長λ0の強度変調光パルスが光ファイバ2を伝搬することによって生じる偏波モード分散τ_{PMD a}

を測定することに等しい。

【0064】同様に、第2の偏波状態の強度変調光パルスが被測定光ファイバ2～4に射出することによって、次式(7)のような関係が成立する。

【0065】

【数8】

を測定することができる。同様に、振幅値L10b、L20b、L30b、L40b及び位相差P10b、P20b、P30b、P40bを式(2)～(5)に代入することによって、波長λ0の強度変調光パルスが光ファイバ2及び3を伝搬することによって生じる偏波モード分散τ_{PMD b}を測定することができる。また、振幅値L10c、L20c、L30c、L40c及び位相差P10c、P20c、P30c、P40cを式(2)～(5)に代入することによって、波長λ0の強度変調光パルスが光ファイバ2～4を伝搬することによって生じる偏波モード分散τ_{PMD c}を測定することができる。

【0069】なお、波長λ0の強度変調光パルスが光ファイバ3だけを伝搬することによって生じる偏波モード分散τ_{PMD a b}は、振幅値L10b、L20b、L30b、L40b及び位相差P10b、P20b、P30b、P40bから振幅値L10a、L20a、L30a、L40a及び位相差P10a、P20a、P30a、P40aをそれぞれ減算した値を式(2)～(5)に代入することによって測定することができる。同様に、波長λ0の強度変調光パルスが光ファイバ4だけを伝搬することによって生じる偏波モード分散τ_{PMD b c}は、振幅値L10c、L20c、L30c、L40c及び位相差P10c、P20c、P30c、P40cから振幅値L10b、L20b、L30b、L40b及び位相差P10b、P20b、P30b、P40bをそれぞれ減算した値を式(2)～(5)に代入することによって測定することができる。なお、上述の演算処理は波長λ0に対するものなので、各波長λ1～λnの測定結果についても同様に順次演算処理することによって、各波長λ1～λnに対応する偏波モード分散を測定することができる。

【0070】以上のように、第1の実施の形態の偏波モード分散測定装置によれば、コネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2～4のそれぞれが有する偏波モード分散を測定することができる。

【0071】図3は、第1の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の変形例の構成を示す図である。この変形例に係る偏波モード分散測定装置30は、解析装置213内にp偏光成分用の同期加算部31pとs偏光成分用の同期加算部31sを有し、位相測定処理及び振幅測定処理を位相振幅検出器20p、20sによって複数回実行し、その実行結果の同期加算を同期加算部31p、31sで算出するようにしたものである。これによって、正確な位相差及び振幅値の測定を行うことができる。上述した同期加算部31p、31sが同期加算手段に対応する。

【0072】なお、正弦波発振器14から位相振幅検出器20p、20sに出力される正弦波信号の位相（位相比較の基準となる正弦波信号の位相）を前後にずらして、位相測定のタイミングを可変することによって、光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じる偏波モード分散を容易に測定することができる。すなわち波長 $\lambda_0 \sim \lambda_1$ のp偏光成分の強度変調光パルスに対応する位相差信号P10a～P1naの値がゼロになるように、正弦波発振器14から出力される正弦波信号の位相を前後にずらして、その位相のずれた正弦波信号と、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ のp偏光成分の強度変調光パルスがコネクタ接続部6で反射及び散乱することによって生成された信号波形bp0～bpnとの間の位相を比較することによって、光ファイバ3だけを伝搬することによって生じる位相差を測定することができる同様に、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_1$ のs偏光成分の強度変調光パルスに対応する位相差信号P20a～P2naの値がゼロになるように、正弦波発振器21から出力される正弦波信号の位相を前後にずらして、その位相のずれた正弦波信号と、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ のs偏光成分の強度変調光パルスがファイバ先端部7で反射及び散乱することによって生成された信号波形bs0～bsnとの間の位相を比較することによって、光ファイバ3だけを伝搬することによって生じる位相差の変動値を測定することができる。このようにして得られた位相差信号と振幅値に基づいて、強度変調光パルスが光ファイバ3だけを伝搬することによって生じる偏波モード分散 $\tau_{\text{PMD}} ab$ を測定することができる。同様に、強度変調光パルスが光ファイバ4だけを伝搬することによって生じる偏波モード分散 $\tau_{\text{PMD}} bc$ も測定することができる。

【0073】〔第2の実施の形態〕本発明を適用した第2の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置は、二つの直交する偏波モードの光パルスを別々に被測定光ファイバに出射し、戻ってきた光パルスのp偏光成分とs偏

光成分の振幅及び遅延量を複数種類の波長について求め、それに基づいて偏波モード分散を測定するようにしたものである。

【0074】図4は、第2の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の構成を示す図である。この実施の形態では、偏波モード分散測定装置40を用いて、敷設済の光ファイバ2～4に関する偏波モード分散を測定する場合について説明する。偏波モード分散測定装置40は、タイミング制御部114、波長可変光源12、光パルス発生回路13、偏波コントローラ16、光方向性結合器17、偏光ビームスプリッタ18、光—電気(O/E)変換器19s、19p、位相振幅検出器41s、41p、解析装置214を含んで構成される。図4において図1と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。

【0075】タイミング制御部114は、光パルスの出力タイミングに対応したタイミング信号を光パルス発生回路13及び位相振幅検出器41s、41pに、光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源12に、直線偏光の振動方向を制御する偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に、偏波モード分散の解析開始信号を解析装置214にそれぞれ出力する。タイミング信号は所定の時間幅を有するパルス状の信号である。光パルス発生回路13は、このタイミング制御部114から入力されるタイミング信号がハイレベルの状態にあるときに光パルスを発射しており、このタイミング信号のハイレベルの状態を制御することによって、光パルスの幅を任意に制御することができる。

【0076】位相振幅検出器41sは、タイミング制御部114から光パルス発生回路13に出力されるタイミング信号と、各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のs偏光成分に対応するパルス信号とを比較し、その遅延量を解析装置214に出力すると共に各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のs偏光成分に対応するパルス信号の振幅値を測定し、それを解析装置214に出力する。同様に位相振幅検出器41pは、タイミング制御部114から光パルス発生回路13に出力されるタイミング信号と、各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のp偏光成分に対応するパルス信号とを比較し、その遅延量を解析装置214に出力すると共に、各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のp偏光成分に対応するパルス信号の振幅値を測定し、それを解析装置214に出力する。光—電気変換器19s、19pから出力されるパルス信号は、各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のs偏光成分及びp偏光成分にそれぞれ対応するものである。タイミング制御部114からタイミング信号が

出力されてからパルス信号が入力するまでのディレイタイムを測定することによって、光パルスが入出力端22から出射してから各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光のs偏光成分及びp偏光成分が入出力端22に戻ってくるまでの時間を測定することになる。この時間は、波長の値や偏光状態(s偏光及びp偏光)によって異なるので、この時間を各波長毎に測定し、それを波長の1周期当たりの時間と対比することによって位相差を測定することができる。

【0077】従って、解析装置214は、位相振幅検出器41s、41pから出力されるディレイタイムを順次記憶しておき、タイミング制御部114から出力される解析開始信号に応じて蓄積されたディレイタイムに基づいて各波長における偏光状態毎の位相差を算出し、さらに、算出された位相差及び振幅値に基づいて前述の解析装置211と同様に、コネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2～4のそれぞれが有する偏波モード分散を測定することができる。

【0078】上述したタイミング制御部114、波長可変光源12及び光パルス発生回路13が光パルス生成手段に、タイミング制御部114及び偏波コントローラ16が偏波制御手段に、光方向性結合器17、偏光ビームスプリッタ18及び光一電気変換器19s、19pが光検出手段に、位相振幅検出器41s、41p及び解析装置214が振幅測定手段に、位相振幅検出器41s、41p及び解析装置214が位相差測定手段に、解析装置214が解析手段にそれぞれ対応する。

【0079】次に、第2の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置40の動作について図面を用いて説明する。図5は、図4の偏波モード分散測定装置40によってコネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2～4の偏波モード分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図であり、横軸に時間を示す。まず、タイミング制御部114は、波長可変光源12に対して波長 λ_0 の波長設定信号を出力する。これによって、波長可変光源12は波長 λ_0 の光を光パルス発生回路13に出射する。次に、タイミング制御部114は、図5(a)に示すようなタイミング信号(プローブパルス)をタイミングt0で光パルス発生回路13及び位相振幅検出器41s、41pに出力する。光パルス発生回路13は、このタイミング信号の入力に同期したタイミングt0で波長 λ_0 の光パルスを偏波コントローラ16に出射する。

【0080】このとき偏波コントローラ16は、光パルス発生回路13から出射される光パルスを第1の偏波状態に変換して光方向性結合器17に出射するように、タイミング制御部114から出力された第1の偏波状態制御信号によって予め設定されている。従って、偏波コン

トローラ16は、光パルス発生回路13から入射された光パルスの偏光状態を第1の偏波状態に変換して、光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2～4に出射する。光ファイバ2～4に入射した光パルスは、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2～4をそれぞれ經由して入出力端22に戻ってくる。入出力端22に戻ってきた光パルスは光方向性結合器17を介して偏光ビームスプリッタ18に入射され、そこでp偏光成分の光パルスとs偏光成分の光パルスに分離され、それぞれの光パルスに対応した光一電気変換器19s、19pに入射されて電氣的なパルス信号に変換される。光一電気変換器19s、19pから出力される電氣的なパルス信号は図5(b)～(e)に示すように、光パルス発生回路13から出射された図5(a)の光パルスに対応した波形となる。

【0081】図5(b)は、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_0 のp偏光成分の光パルスの戻り光が光一電気変換器19pによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図5(b)において、信号波形gp0はコネクタ接続部5で、信号波形hp0はコネクタ接続部6で、信号波形ip0はファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した光パルスの戻り光に対応するものである。図5(c)は、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_0 のs偏光成分の光パルスの戻り光が光一電気変換器19sによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図5(c)において、信号波形gs0はコネクタ接続部5で、信号波形hs0はコネクタ接続部6で、信号波形is0はファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した光パルスの戻り光に対応するものである。なお、図4において、コネクタ接続部5にはgの文字を、コネクタ接続部6にはhの文字を、ファイバ先端部7にはiの文字を付して、それぞれの波形との対応を示している。

【0082】位相振幅検出器41pは、光一電気変換器19pによって変換された各信号波形gp0、hp0、ip0の立ち上がりタイミングと、タイミング制御部114から出力されたタイミング信号の立ち上がりタイミングt0とを比較し、そのディレイタイム(遅延量)g0p、h0p、i0pを測定し、それを解析装置214に出力する。また、位相振幅比較器41pは、光一電気変換器19pから出力される各信号波形g0p、h0p、i0pの振幅値を検出し、その振幅値L10g、L10h、L10iを解析装置214に出力する。位相振幅検出器41sは光一電気変換器19sによって変換された各信号波形gs0、hs0、is0の立ち上がりタイミングと、タイミング制御部114から出力されたタイミング信号の立ち上がりタイミングt0とを比較し、そのディレイタイム(遅延量)g0s、h0s、i0s

を測定し、それを解析装置214に出力する。また、位相振幅比較器41sは、光—電気変換器19sから出力される各信号波形g0s, h0s, i0sの振幅値を検出し、その振幅値L20g, L20h, L20iを解析装置214に出力する。

【0083】以下同様にして、タイミング制御部114は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。図5(d)は、コネクタ接続部5, 6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_n のp偏光成分の光パルスの戻り光が光—電気変換器19pによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図5(d)において、信号波形gp_nはコネクタ接続部5で、信号波形hp_nはコネクタ接続部6で、信号波形ip_nはファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した光パルスの戻り光に対応するものである。図5(e)は、コネクタ接続部5, 6並びにファイバ先端部7で反射及び散乱した波長 λ_n のs偏光成分の光パルスの戻り光が光—電気変換器19sによって変換された場合における信号波形の一例を示す図である。図5(e)において、信号波形gs_nはコネクタ接続部5で、信号波形hs_nはコネクタ接続部6で、信号波形is_nはファイバ先端部7で、それぞれ反射及び散乱した光パルスの戻り光に対応するものである。これによって、位相振幅検出器41pは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光パルスに対するディレイタイムg1p~gnp, h1p~hnp, i1p~inp及び振幅値L11g~L1ng, L11h~L1nh, L11i~L1niを測定して解析装置214に順次出力する。同様に、位相振幅検出器41sは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光パルスに対するディレイタイムg1s~gns, h1s~hns, i1s~ins及び振幅値L21g~L2ng, L21h~L2nh, L21i~L2niを測定して解析装置214に順次出力する。

【0084】第1の偏波状態の光パルスに対する一連の処理が終了すると、今度はタイミング制御部114は、第2の偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に出力し、偏波コントローラ16から第2の偏波状態に変換された直線偏光の光パルスが出射されるように偏波コントローラ16の設定を変更する。これによって、偏波コントローラ16は、光パルスを第2の偏波状態の直線偏光に変換して光方向性結合器17に出射するようになる。

【0085】偏波コントローラ16から出射される第2の偏波状態の光パルスは、前述の場合と同様に光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2~4に入射され、コネクタ接続部5, 6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2~4をそれぞれ経由して入出力端22に戻ってくる。入出力端22に戻ってきた光パルスは光方向性結合器17を介して偏光ビームスプリッタ18に入射され、そこでp偏光成分の光パルスとs偏光成分の光パルスに分離され、それ

ぞれの光パルスに対応した光—電気変換器19s, 19pに入射され、そこで電気的な信号に変換される。光—電気変換器19s, 19pによって変換された電気的な信号は前述の場合と同様に光パルス発生回路13から出射された図2(a)の光パルスに対応した波形になる。そこで、前述の場合と同様に、位相振幅検出器41pは、光—電気変換器19pによって変換された各信号波形の立ち上がりタイミングと、タイミング制御部114から出力されたタイミング信号の立ち上がりタイミングt0とを比較し、そのディレイタイム(遅延量)を測定し、それを解析装置214に出力すると共に光—電気変換器19pから出力される各信号波形の振幅値を検出し、その振幅値を解析装置214に出力する。同様に、位相振幅検出器41sは、光—電気変換器19sによって変換された各信号波形の立ち上がりタイミングと、タイミング制御部114から出力されたタイミング信号の立ち上がりタイミングt0とを比較し、そのディレイタイム(遅延量)を測定し、それを解析装置214に出力すると共に光—電気変換器19sから出力される各信号波形の振幅値を検出し、その振幅値を解析装置214に出力する。以下同様にして、タイミング制御部114は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、位相振幅検出器41pは、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光パルスに対するディレイタイムg0p~gnp, h0p~hnp, i0p~inp及び振幅値L30g~L3ng, L31h~L3nh, L31i~L3niを測定して解析装置214に順次出力する。同様に位相振幅検出器41sは、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光パルスに対するディレイタイムg0s~gns, h0s~hns, i0s~ins及び振幅値L40g~L4ng, L40h~L4nh, L40i~L4niを解析装置214に順次出力する。

【0086】上述のような第1の偏波状態の光パルスに対する処理及び第2の偏波状態の光パルスに対する処理が終了すると、今度は、タイミング制御部114は解析開始信号を解析装置214に出力する。解析装置214は、位相振幅検出器41s, 41pから出力されたディレイタイムを順次記憶しているので、それに基づいて各波長における偏光状態毎の位相差を算出する。すなわち、解析装置214は、各波長における偏光状態毎の位相差P10g~P1ng, P10h~P1nh, P10i~P1ni, P20g~P2ng, P20h~P2nh, P20i~P2ni, P30g~P3ng, P30h~P3nh, P30i~P3ni, P40g~P4ng, P40h~P4nh, P40i~P4niを算出する。解析装置214は、算出された位相差及び振幅値に基づいて前述の解析装置211と同様にして、コネクタ接続部5, 6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2~4のそれぞれが有する偏波モード分散を測定することができる。

【0087】〔第3の実施の形態〕本発明を適用した第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置は、所定の周波数で変調されたコヒーレント光パルスを被測定光ファイバに出射し、戻ってきたコヒーレント光パルスの位相をヘテロダイン方式で比較することによって複数種類の波長に関する位相差及び振幅値を求め、それに基づいて偏波モード分散を測定するようにしたものである。

【0088】図6は、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の構成を示す図である。この実施の形態では、偏波モード分散測定装置60を用いて、敷設済の光ファイバ2～4に関する偏波モード分散を測定する場合について説明する。なお、図6では、コネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7及び光ファイバ3、4についての図示を省略してある。偏波モード分散測定装置60は、タイミング制御部116、波長可変光源12、光周波数シフタ61、正弦波発振器62、光パルス発生回路13、偏波コントローラ16、光方向性結合器17、偏光ビームスプリッタ18、光方向性結合器63、64、ヘテロダイン光レシーバ65p、65s、位相振幅検出器66p、66s、解析装置216を含んで構成される。図6において図1と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。

【0089】正弦波発振器62は、所定周波数 f_{L0} （例えば、100MHz～150MHz）の正弦波信号を光周波数シフタ61、タイミング制御部116及び位相振幅検出器66p、66sに出力する。なお、正弦波発振器62は、所定の波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ に対する位相比較が行われている間は正弦波信号を位相振幅検出器66p、66sに出力し続ける。

【0090】タイミング制御部116は、正弦波発振器62から出力される正弦波信号に同期したタイミング信号（プローブパルス）を光パルス発生回路13に出力する。また、タイミング制御部116は、光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源12に、直線偏光の振動方向を制御する偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に、偏波モード分散の解析開始信号を解析装置216にそれぞれ出力する。

【0091】光周波数シフタ61は、音響光学変調器（AOM）などから構成され、正弦波発振器62から出力される周波数 f_{L0} の正弦波信号に基づいて、波長可変光源12から出射される光の周波数をシフトし、シフトされた光を光パルス発生回路13に出射する。光方向性結合器63は、波長可変光源12から出力される各波長の光の一部をヘテロダイン光レシーバ65pに分波するものである。光方向性結合器64は、光方向性結合器63によって分波された各波長の光の一部をさらにヘテロダイン光レシーバ65sに分波するものである。

【0092】ヘテロダイン光レシーバ65pは、光方向性結合器63を介して取り込まれた周波数シフトされていない波長可変光源12から出射された波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$

の光（周波数 $f_0 \sim f_n$ の光）と、光方向性結合器17及び偏光ビームスプリッタ18を介して取り込まれた各コネクタ接続部5、6及びファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光の戻り光のうちのp偏光成分に対応する光パルスとが入射され、両者の周波数差に相当するビート信号を位相振幅検出器66pに出力する。このとき、ヘテロダイン光レシーバ65pから出力されるビート信号は、正弦波発振器62から出力される周波数 f_{L0} とほぼ同じ周波数の信号となるが、入出力端22から出射して各コネクタ接続部5、6やファイバ先端部7で反射及び散乱することによって再び入出力端22に戻って来た戻り光に基づいて生成されているので、正弦波発振器62から出力される周波数 f_{L0} の正弦波信号に対して通過経路に応じただけの位相差を有する。同様に、ヘテロダイン光レシーバ65sは、光方向性結合器63、64を介して取り込まれた周波数シフトされていない波長可変光源12から出射された波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光（周波数 $f_0 \sim f_n$ の光）と、光方向性結合器17及び偏光ビームスプリッタ18を介して取り込まれた各コネクタ接続部5、6及びファイバ先端部7で反射及び散乱した反射光及び後方散乱光の戻り光のうちのs偏光成分に対応する光パルスとが入射され、両者の周波数差に相当するビート信号を位相振幅検出器66sに出力する。

【0093】位相振幅検出器66pは、正弦波発振器62から出力される正弦波信号と、ヘテロダイン光レシーバ65pから出力されるビート信号の位相を比較し、その位相差信号を解析装置216に出力すると共にヘテロダイン光レシーバ65pから出力されるビート信号の最大振幅値を検出し、その振幅値を解析装置216に出力する。位相振幅検出器66sは、正弦波発振器62から出力される正弦波信号と、ヘテロダイン光レシーバ65sから出力されるビート信号の位相を比較し、その位相差信号を解析装置216に出力すると共にヘテロダイン光レシーバ65sから出力されるビート信号の最大振幅値を検出し、その振幅値を解析装置216に出力する。

【0094】解析装置216は、タイミング制御部116から出力される解析開始信号に応じて、位相振幅検出器66p、66sから出力された位相差信号及び振幅値に基づいて、コネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2～4に対応する区間の偏波モード分散を前述の第1の実施の形態と同様に算出する。

【0095】上述したタイミング制御部116、波長可変光源12、光パルス発生回路13、光周波数シフタ61及び正弦波発振器62が光パルス生成手段に、光方向性結合器17、63、64、偏光ビームスプリッタ18及びヘテロダイン光レシーバ65p、65sが光検出手段に、位相振幅検出器66p、66s及び解析装置216が位相差測定手段及び振幅測定手段に、解析装置216

が解析手段に、それぞれ対応する。波長可変光源12がレーザ光源に、光周波数シフタ61が周波数シフタに、正弦波発振器62が発振器に、ヘテロダイン光レシーバ65p、65sがヘテロダイン検波器に、それぞれ対応する。

【0096】次に、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置60の動作について図6を用いて説明する。まず、タイミング制御部116は、波長可変光源12に対して波長 λ_0 （周波数 f_0 ）の波長設定信号を出力する。これによって、波長可変光源12は波長 λ_0 の光を光周波数シフタ61に射出する。光周波数シフタ61は、波長 λ_0 の光の周波数を正弦波発振器62から出力される周波数 f_{L0} の周波数でシフトし、シフトされた周波数 λ_0 （周波数 $f_0 + f_{L0}$ ）の光を光パルス発生回路13に射出する。なお、光周波数シフタ61によって周波数がシフトしたことによって実際には波長 λ_0 は微妙に変化するが、周波数 f_{L0} が周波数 f_0 に比べて非常に小さいのでその変化は無視できる値である。次に、タイミング制御部116は、正弦波発振器62から出力される正弦波信号の位相0のタイミングに同期してタイミング信号（プローブパルス）を光パルス発生回路13に出力する。光パルス発生回路13は、このタイミング信号の入力に同期して、光周波数シフタ61から出力される波長 λ_0 （周波数 $f_0 + f_{L0}$ ）の光パルスを偏波コントローラ16に射出する。

【0097】このとき偏波コントローラ16は、光パルス発生回路13から射出された光パルスを第1の偏波状態に変換して光方向性結合器17に射出するように、タイミング制御部116から出力された第1の偏波状態制御信号によって予め設定されている。偏波コントローラ16から射出された第1の偏波状態の光パルスは、光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2～4に入射される。光ファイバ2～4に入射した周波数シフトされた光パルスは、コネクタ接続部5、6及びファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2～4をそれぞれ経由して入出力端22に戻ってくる。

【0098】入出力端22に戻ってきた光パルスは光方向性結合器17を介して偏光ビームスプリッタ18に入射され、そこでp偏光成分の光パルスとs偏光成分の光パルスに分離され、それぞれの偏光成分に対応したヘテロダイン光レシーバ65p、65sに入射される。ヘテロダイン光レシーバ65pは、入出力端22及び光方向性結合器17を介して戻ってきたp偏光成分の光パルスと、光方向性結合器63によって導かれた波長 λ_0 （周波数 f_0 ）の光に基づいて、周波数 f_{L0} のビート信号を位相振幅検出器66pに出力する。一方、ヘテロダイン光レシーバ65sは、入出力端22、光方向性結合器17及び偏光ビームスプリッタ18を介して戻ってきたs偏光成分の光パルスと、光方向性結合器63、4によ

って導かれた波長 λ_0 （周波数 f_0 ）の光に基づいて、周波数 f_{L0} のビート信号を位相振幅検出器66sに出力する。以下同様にして、タイミング制御部116は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、位相振幅検出器66p、66sは、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号及び振幅値を測定して解析装置216に順次出力する。

【0099】第1の偏波状態の光パルスに対する一連の処理が終了すると、今度はタイミング制御部116は、第2の偏波状態制御信号を偏波コントローラ16に出力し、偏波コントローラ16から第2の偏波状態に変換された直線偏光の光パルスが射出されるように偏波コントローラ16の設定を変更する。これによって、偏波コントローラ16は、光パルス発生回路13から射出される光パルスを第2の偏波状態の直線偏光に変換して光方向性結合器17に射出するようになる。

【0100】偏波コントローラ16から射出される第2の偏波状態の光パルスは、前述の場合と同様に光方向性結合器17及び入出力端22を介して光ファイバ2～4に入射され、コネクタ接続部5、6並びにファイバ先端部7でそれぞれ反射及び散乱して光ファイバ2～4をそれぞれ経由して入出力端22に戻ってくる。入出力端22に戻ってきた光パルスは光方向性結合器17を介して偏光ビームスプリッタ18に入射され、そこでp偏光成分の光パルスとs偏光成分の光パルスに分離され、それぞれの偏光成分に対応したヘテロダイン光レシーバ65p、65sに入射され、そこで、p偏光成分及びs偏光成分の光パルスに対応したビート信号に変換され、各位相振幅検出器66p、66sに出力される。

【0101】位相振幅検出器66p、66sは、第2の偏波状態の光パルスに対応した位相差信号及び振幅値をそれぞれ測定し、その測定値を解析装置216に出力する。以下同様にして、タイミング制御部116は、波長可変光源12に対して波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長設定信号を順次出力する。これによって、位相振幅検出器66p、66sは、波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の場合における位相差信号及び振幅値を解析装置216に順次出力する。

【0102】上述のような第1の偏波状態の光パルスに対する処理及び第2の偏波状態の光パルスに対する処理が終了すると、今度は、タイミング制御部116は解析開始信号を解析装置216に出力する。解析装置216は、位相振幅検出器66p、66sから出力された位相差信号及び振幅値を記憶しているので、それに基づいて前述の解析装置211と同様に、コネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2～4のそれぞれが有する偏波モード分散を測定する。

【0103】なお、第3の実施の形態では、タイミング制御部116が、正弦波発振器62から出力される正弦

波信号に同期して光パルスの出力タイミングを制御する場合について説明したが、必ずしも同期をとる必要はない。なぜなら、位相振幅検出器66p、66sによって検出される位相差信号は、式(4)及び式(5)によって相対的な位相差として演算処理されるからである。なお、第1の実施の形態の場合と同様に、正弦波発振器62から出力される正弦波信号の位相を前後にずらして、その位相比較の測定タイミングを可変することによって、光ファイバ3又は4だけを伝搬することによって生じる偏波モード分散を容易に測定することができること

【0104】図7は、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第1の変形例の構成を示す図である。図7において図6と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。この第1の変形例では、偏光ビームスプリッタ18とヘテロダイン光レシーバ72との間に光スイッチ71が設けられ、1つのヘテロダイン光レシーバ72でp偏光成分及びs偏光成分の光に対するビート信号を生成するように構成してある。このような構成の第1の変形例によれば、光スイッチ71を切り換えることによって1つのヘテロダイン光レシーバ72と1つの位相振幅検出器73によってp偏光成分及びs偏光成分の光に対するそれぞれの位相差信号及び振幅値を測定することができるので、図6に示した偏波モード分散測定装置60に含まれる光方向性結合器64、ヘテロダイン光レシーバ65s及び位相振幅検出器66sを省略することができ、装置を簡略化することができる。また、この第1の変形例では、ヘテロダイン光レシーバ72から出力されるビート信号の包絡線を検波する包絡線検波器74が設けてあり、通常のOTDR (optical time domain reflectometry) 測定装置と同様に後方散乱光の強度も同時に測定可能なように構成してある。従って、解析装置217は、包絡線検波器74から出力される波形信号を対数変換して、各光ファイバ2~4の損失及び破断点の位置などを認識可能な波形を表示することができる。なお、OTDR測定装置の動作については公知なのでその詳細な説明は省略する。このように偏波モード分散測定装置による偏波モード分散の測定過程でOTDR測定装置によって光ファイバの損失等を測定することによって、コネクタ接続点5、6、ファイバ先端部7などに関して偏波モード分散の正確な位置を把握することができるようになる。なお、この包絡線検波器74から出力される波形信号に基づいて、前述のp偏光成分及びs偏光成分の光に対する振幅値を測定するようにしてもよいことは言うまでもない。上述した包絡線検波器74が強度測定手段に対応する。

【0105】図8は、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第2の変形例の構成を示す図である。図8において図6又は図7と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。この第2

の変形例では、偏光ビームスプリッタ18が省略され、光方向性結合器17を介して戻ってきた光パルスが直接ヘテロダイン光レシーバ72に入射され、さらに偏波コントローラ16と同じ構成の偏波コントローラ81が設けられている。偏波コントローラ81は、光方向性結合器63を介して入射される光パルスの偏波状態を制御してヘテロダイン光レシーバ72に出射する。すなわち、偏波コントローラ81は、偏波コントローラ16と同様にタイミング制御部118から出力される偏波状態制御信号に応じて、光方向性結合器63を介して入射される光パルスの偏波状態を第1の偏波状態又は第2の偏波状態に変換して、ヘテロダイン光レシーバ72に出射する。

【0106】従って、偏波コントローラ16が第1の偏波状態の光パルスを光ファイバ2~4に出射している状態で、偏波コントローラ81が第1の偏波状態の光パルスをヘテロダイン光レシーバ72に出射すると、ヘテロダイン光レシーバ72はp偏光成分の光パルスとの間でビート信号を生成して位相振幅検出器73に出力するようになる。一方、偏波コントローラ81が第2の偏波状態の光パルスをヘテロダイン光レシーバ72に出射すると、ヘテロダイン光レシーバ72はs偏光成分の光パルスとの間でビート信号を生成して位相振幅検出器73に出力するようになる。同様に、偏波コントローラ16が第2の偏波状態の光パルスを光ファイバ2~4に出射している状態で、偏波コントローラ81が第1の偏波状態の光パルスをヘテロダイン光レシーバ72に出射すると、ヘテロダイン光レシーバ72はp偏光成分の光パルスとの間でビート信号を生成して位相振幅検出器73に出力するようになり、偏波コントローラ81が第2の偏波状態の光パルスをヘテロダイン光レシーバ72に出射すると、ヘテロダイン光レシーバ72はs偏光成分の光パルスとの間でビート信号を生成して位相振幅検出器73に出力するようになる。これらの各状態で測定された位相差信号及び振幅値に基づいて、解析装置218はコネクタ接続部5、6、ファイバ先端部7の存在する地点における偏波モード分散、並びに光ファイバ2~4のそれぞれが有する偏波モード分散を測定することができる。

【0107】なお、図8では、一つの偏波コントローラ81をp偏光成分用とs偏光成分用に交互に切り換えて使用する場合について説明したが、p偏光成分用とs偏光成分用にそれぞれ別々の偏波コントローラを設けてもよいことは言うまでもない。

【0108】図9は、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第3の変形例の構成を示す図である。この第3の変形例に係る偏波モード分散測定装置90は、光ファイバが光アンプでつながった光ファイバアンプ通信システムに対して、その偏波モード分散を測定するように構成されたものである。図9において図6と同

じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。この第3の変形例が図6のものと異なる点は、ループバック方式採用の光ファイバアンプ中継伝送路で構成された光ファイバアンプ通信システムに含まれる被測定光ファイバの偏波モード分散を測定するようにした点である。光ファイバアンプ通信システムは、複数の光ファイバ2a、2bと、各中継点に設けられた複数の光アンプ8a、8bと、ループバックパス9とによって構成されている。なお、図では光ファイバ2a、2b、光アンプ8a、8b及びループバックパス9だけを

示したが、実際は複数の光ファイバ、光アンプ及びループバックパスが設けられている。さらに、この第3の変形例では、波長可変光源91、光パルス発生回路92、光方向性結合器93、エルビウム添加光ファイバ増幅器(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)94、バンドパスフィルタ95p、95s及び包絡線検波器96p、96sが新たに設けられている。

【0109】波長可変光源91及び光パルス発生回路92は、海底ケーブルなどを測定する場合に、波長可変光源12から出力される波長 $\lambda_0 \sim \lambda_n$ の光パルスを送出していないときでも、この光パルスと光強度がほぼ等しく、しかも互いに識別可能な波長 λ_q の非コヒーレントな光パルス(ローディング光)を射出するものである。これは、光ファイバアンプ通信システム内の光アンプ8a、8bによって自動的にゲイン調整が行われるようになるので、偏波モード分散測定装置90から出力される光の強度を一定に保持するためである。光方向性結合器93は、光パルス発生回路92から射出されるローディング用の光パルスを偏波コントローラ16及びEDFA94を介して出力端22aに導入するものである。なお、タイミング制御部119は、光パルス発生回路13、92に出力するタイミング信号を適宜調整することによって、常に一定強度の光が光ファイバアンプ通信システムに供給されるように調整する。エルビウム添加光ファイバ増幅器94は、波長1.5 μ m帯の光通信に適した光増幅器である。バンドパスフィルタ95p、95sは、検出したい周波数成分以外のノイズ成分を除去するものである。光ファイバアンプ通信システムのように光アンプを用いたものは、戻り光に含まれるノイズ成分が増加する傾向にあるので、バンドパスフィルタ95p、95sはこれらのノイズ成分を有効に除去するために設けられている。包絡線検波器96p、96sは、通常のOTDR測定装置と同様に後方散乱光の強度を同時に測定するためのものである。

【0110】上述したタイミング制御部119、波長可変光源12、光パルス発生回路13光周波数シフタ61及び正弦波発振器62が光パルス生成手段に、光方向性結合器63、64、偏光ビームスプリッタ18、位相振幅検出器65p、65sが光検出手段に、位相振幅検出器66p、66s及び解析装置219が位相差測定手段

及び振幅測定手段に、解析装置219が解析手段に、それぞれ対応する。包絡線検波器96p、96sが強度測定手段に、光ファイバ2a、2b、ループバックパス9及び光アンプ8a、8bから構成される光ファイバアンプ通信システムが光ファイバアンプ中継線路に、ヘテロダイン光レシーバ65p、65sがヘテロダイン検波器に、バンドパスフィルタ95p、95sが帯域通過フィルタに、それぞれ対応する。

【0111】図10は、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第4の変形例の構成を示す図である。図10において図6と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。この第4の変形例に係る偏波モード分散測定装置100は、A/D変換器(アナログデジタル変換器)A1が正弦波発振器62から出力される正弦波信号を、A/D変換器A2がヘテロダイン光レシーバ65pから出力されるビート信号を、A/D変換器A3がヘテロダイン光レシーバ65sから出力されるビート信号を、それぞれアナログデジタル変換して解析装置21Aに出力するように構成されたものである。図10において、タイミング制御部11Aは、A/D変換器A1~A3に共通のサンプリング信号を出力する。A/D変換器A1~A3は、このサンプリング信号に同期して、正弦波発振器62から出力される正弦波信号及びヘテロダイン光レシーバ65p、65sから出力されるビート信号(アナログ信号)をサンプリングして、デジタルデータに変換し、解析装置21Aに出力する。解析装置21Aは、A/D変換器A1~A3から出力されるデジタルデータを保持して、所定の演算を行い、両者の位相差及び振幅値を検出し、この位相差及び振幅値に基づいて偏波モード分散を算出する。

【0112】なお、図1、図3、図6~図9の位相振幅検出器20p、20s、66p、66s、73をこのA/D変換器A2、A3で置き換えて構成してもよい。このように位相振幅検出器をA/D変換器で置き換えることによって位相比較処理を容易に行うことができるようになる。

【0113】図11は、第3の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第5の変形例の構成を示す図である。この第5の変形例に係る偏波モード分散測定装置は、被測定光ファイバに射出される光パルスの周波数(波長)を周波数検出手段で検出し、検出された周波数(波長)に関する遅延量として偏波モード分散を測定するようにしたものである。図11において図6と同じ構成のものには同一の符号が付してあるので、その説明は省略する。図11のものが図6のものと異なる点は、基準光を出力する波長可変光源B1、光方向性結合器B2、B3、ヘテロダイン光レシーバB4及び周波数測定器B5が新たに設けられている点である。図11において、波長可変光源B1は、光通信に使用される波長帯の

光を安定的に出射するものであり、波長可変光源 12 のように細かなレンジで波長を可変できるものではないが、波長可変光源 12 から出射される光に近い値の波長を段階的に正確に出射できるように構成されている。タイミング制御部 11 B は、光パルスの出力タイミングに対応したタイミング信号を光パルス発生回路 13 に出力すると共に出射される光パルスの波長に関する波長設定信号を波長可変光源 12、B1 に出力する。波長可変光源 B1 は、タイミング制御部 11 B から出力される波長設定信号に近い波長の光をヘテロダイン光レシーバ B4 に出射する。例えば、波長可変光源 12 が、1520 nm ~ 1580 nm の間で 1 nm や 0.1 nm 単位で変化させた波長の光を出射することができるのに対して、波長可変光源 B1 は 1520 nm ~ 1580 nm の間で 10 nm 単位で変化させた波長を正確に出力することができる。光方向性結合器 63 は、波長可変光源 12 から出射される光パルスをヘテロダイン光レシーバ 65 p に分波する。光方向性結合器 B2 は、光方向性結合器 63 によって分波された光をさらに分波する。光方向性結合器 B3 は、光方向性結合器 B2 によって分波された光を波長可変光源 B1 から出射された光に合波して、ヘテロダイン光レシーバ B4 に導入する。すなわち、波長可変光源 12 から出射された光の一部は、光方向性結合器 63、B2 及び B3 を介してヘテロダイン光レシーバ B4 に導入される。ヘテロダイン光レシーバ B4 は波長可変光源 12、B1 から出射される両方の光の合成光によってできるビート信号を周波数測定器 B5 に出力する。周波数測定器 B5 は、光スペクトルアナライザで構成され、ヘテロダイン光レシーバ B4 から出力されるビート信号の周波数（波長）を測定するものである。周波数測定 B5 で測定されたビート信号の周波数（波長）は解析装置 21 B に出力される。すなわち、周波数測定器 B5 で測定された周波数は波長可変光源 12 から出射された光パルスの波長が、波長可変光源 B1 から出射された基準光に対してどれだけずれているかを正確に表したものであり、このビート信号の周波数に基づいて波長可変光源 12 から出射された光の波長を正確に把握することができる。従って、解析装置 21 B は、波長可変光源 12 から出射された光の波長に基づいた偏波モード分散を測定することができるようになる。

【0114】上述した波長可変光源 B1 が基準光生成手段に、光方向性結合器 63、B2、B3、及びヘテロダイン光レシーバ B4 が差信号出力手段に、周波数測定器 B5 が周波数測定器にそれぞれ対応する。

【0115】なお、本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲で種々の変形実施が可能である。例えば、図 11 のように波長可変光源 12 から出射される光の周波数を波長可変光源 B1、光方向性結合器 B2、B3、ヘテロダイン光レシーバ B4、周波数測定器 B5 を用いて検出するような構成を、

図 1、図 3、図 4、図 6 ~ 図 10 の偏波モード分散測定装置に適用してもよいことはいうまでもない。

【0116】また、第 1 の実施の形態では、光ファイバ 2 ~ 4 によって構成される光通信経路について説明したが、これ以外の光通信経路のものについても同様に適用できることはいうまでもない。

【0117】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば、敷設後の光ファイバによって形成される光伝送路の特定箇所又は特定の伝送経路における偏波モード分散を容易に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の構成を示す図である。

【図 2】図 1 の偏波モード分散測定装置によって偏波モード分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図である。

【図 3】第 1 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の変形例の構成を示す図である。

【図 4】第 2 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の構成を示す図である。

【図 5】図 4 の偏波モード分散測定装置によって偏波モード分散がどのようにして測定されるのかを示す波形図である。

【図 6】第 3 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の構成を示す図である。

【図 7】第 3 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第 1 の変形例の構成を示す図である。

【図 8】第 3 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第 2 の変形例の構成を示す図である。

【図 9】第 3 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第 3 の変形例の構成を示す図である。

【図 10】第 3 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第 4 の変形例の構成を示す図である。

【図 11】第 3 の実施の形態に係る偏波モード分散測定装置の第 5 の変形例の構成を示す図である。

【符号の説明】

10、30、40、60、70、80、90、100、110 偏波モード分散測定装置

111、114、116、117、118、119、1

1A、11B タイミング制御部

12、91、B1 波長可変光源

13、92 光パルス発生回路

14、62 正弦波発振器

15 正弦波変調器

16、81 偏波コントローラ

17、63、64、93、B2、B3 光方向性結合器

18 偏光ビームスプリッタ

19p、19s 光-電気変換器

20p、20s、41p、41s、66p、66s、7

3 位相振幅検出器

211, 213, 214, 216, 217, 219, 2

1A, 21B 解析装置

31p, 31s 同期加算部

61 光周波数シフタ

65p, 65s, 72, B4 ヘテロダイン光レシーバ

71 光スイッチ

74, 96p, 96s 包絡線検波器

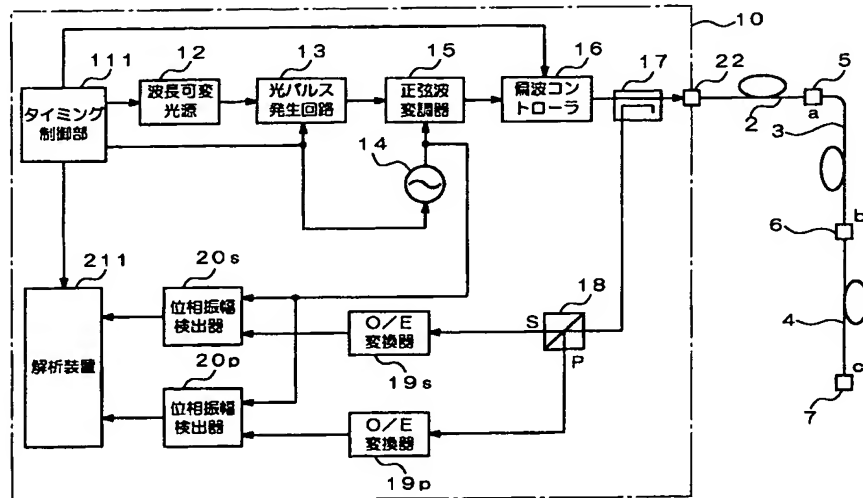
95p, 95s バンドパスフィルタ

2, 3, 4, 2a, 2b 光ファイバ

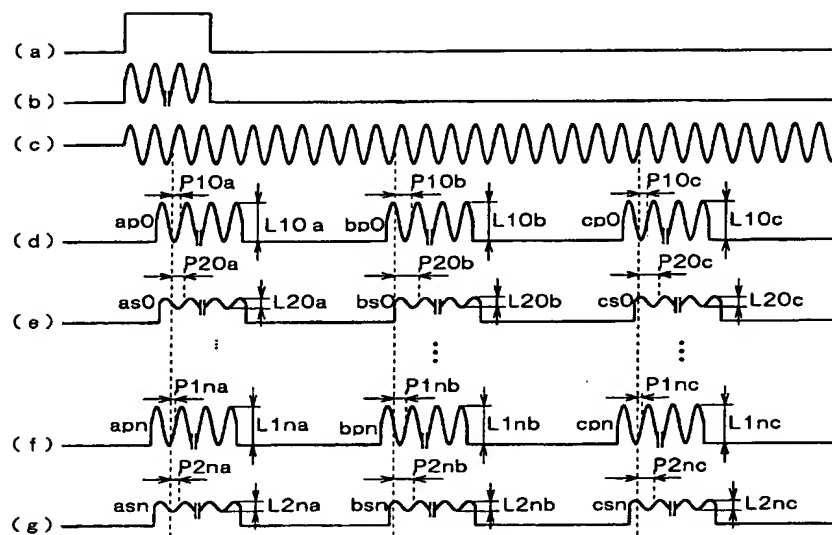
A1, A2, A3 A/D変換器

B5 周波数測定器

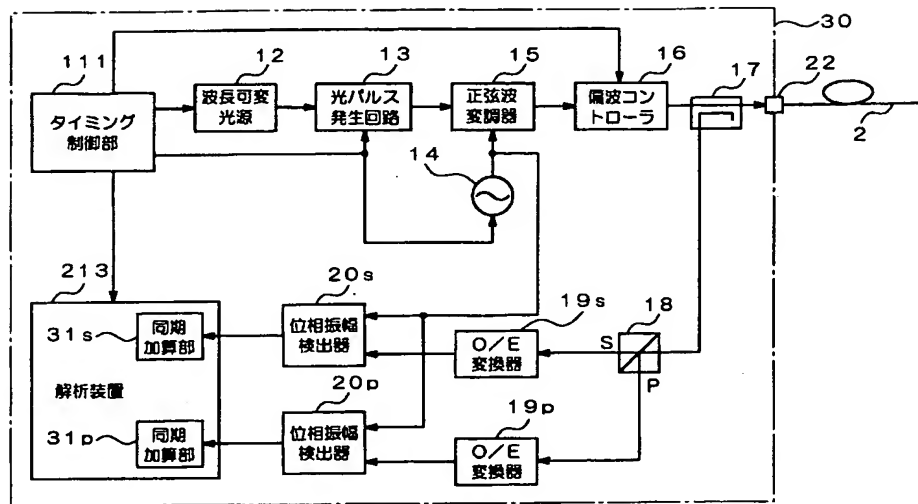
【図1】



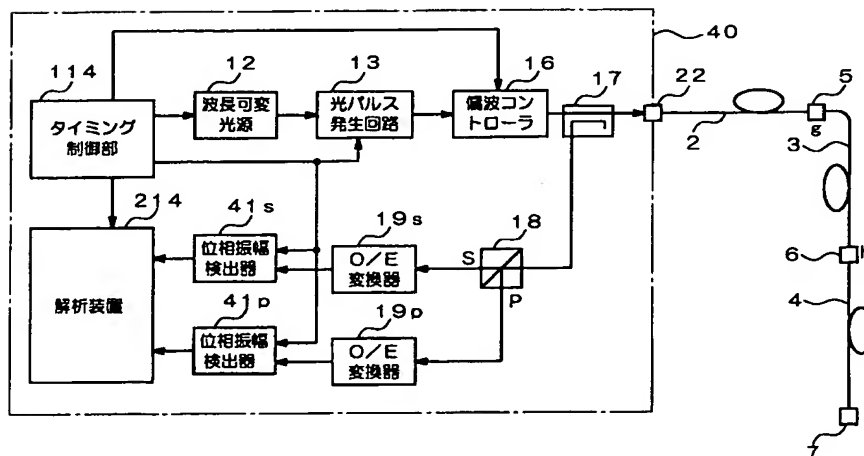
【図2】



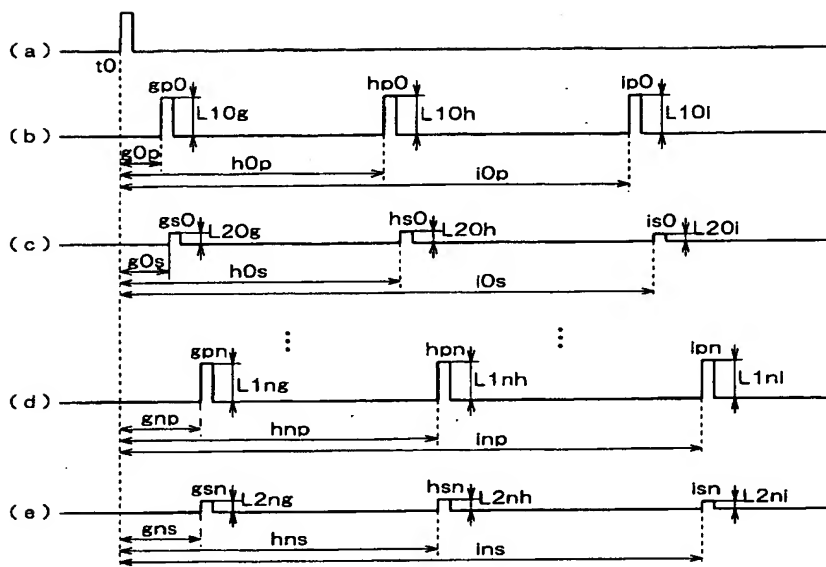
【図3】



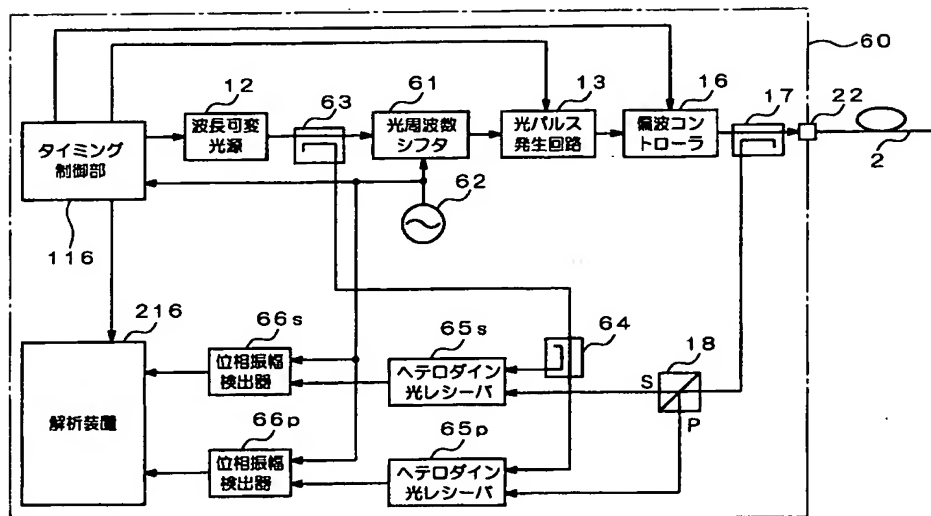
【図4】



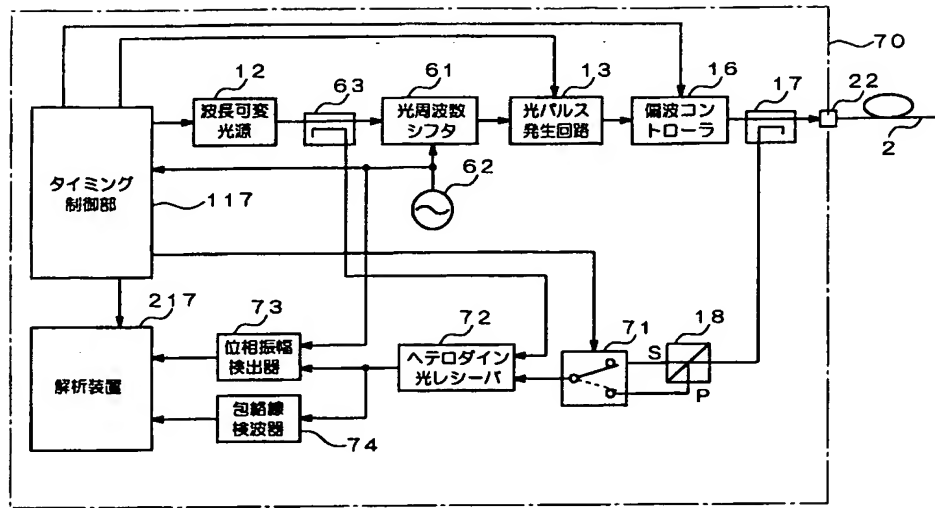
【図 5】



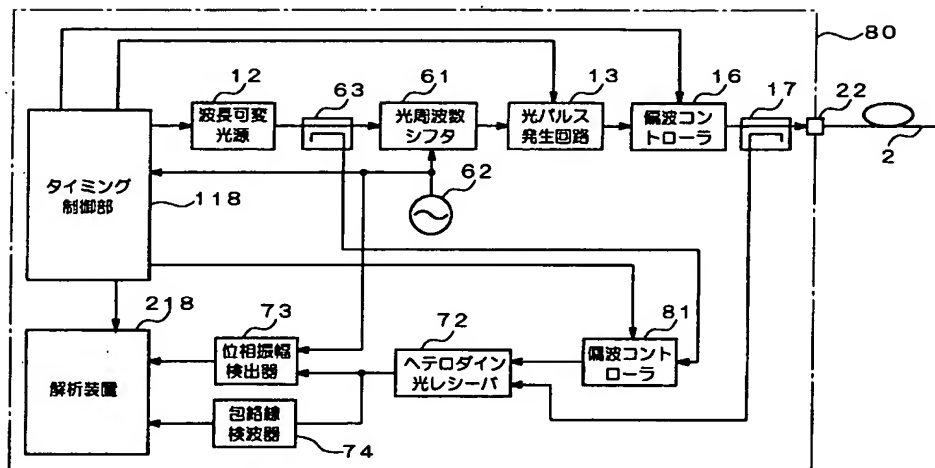
【図 6】



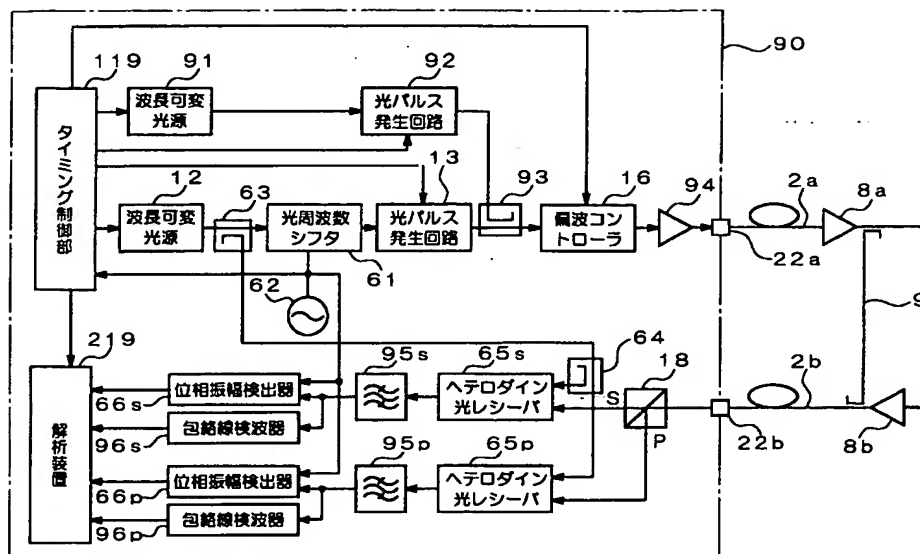
【図7】



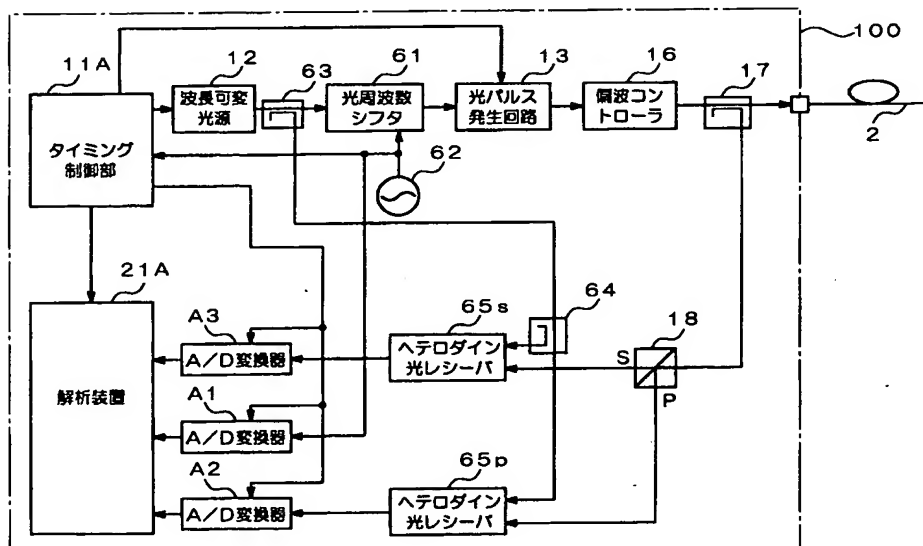
【図8】



【図9】



【図10】



【図 11】

